Publicação IPR 741

MANUAL DE PROJETO E PRÁTICAS OPERACIONAIS PARA SEGURANÇA NAS RODOVIAS

2010

MANUAL DE PROJETO E PRÁTICAS OPERACIONAIS PARA SEGURANÇA NAS RODOVIAS

EQUIPE TÉCNICA:

Eng.º José Luís Mattos Britto Pereira – Coordenador - Engesur
Engª Maria Lúcia Barbosa de Miranda - Supervisora - Engesur
Eng.º Amarilio Carvalho de Oliveira - Consultor - Engesur
Eng.º Annibal Espinola Rodrigues Coelho - Consultor - Engesur
Técº Luiz Carlos Aurélio - Informática - Engesur
Téc.ª Carolina Lima de Carvalho - Informática - Engesur
Técª Célia de Lima M. Rosa - Informática - Engesur

COMISSÃO DE SUPERVISÃO

Eng.º Gabriel de Lucena Stuckert – Coordenador Técnico – IPR/DNIT
Eng.º Pedro Mansour – Supervisor Técnico – IPR/DNIT
Bibl.ª Heloisa Maria Moreira Monnerat – Supervisora Administrativa – IPR/DNIT

COLABORADORES

Engº. Elmar Pereira de Mello – IPR/DNIT
Bibl.ª Tânia Bral Mendes – Apoio Administrativo - IPR/DNIT
Estat. Dener dos Santos Coelho – Informática - IPR/DNIT

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias. - Rio de Janeiro, 2010.
280p. (IPR. Publ., 741).

1. Segurança de tráfego – Manuais. I. Série. II. Título.

CDD 629.0310202

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DIRETORIA EXECUTIVA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Publicação IPR 741

MANUAL DE PROJETO E PRÁTICAS OPERACIONAIS PARA SEGURANÇA NAS RODOVIAS

RIO DE JANEIRO
2010

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DIRETORIA EXECUTIVA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163 – Vigário Geral
CEP: 21240-000 – Rio de Janeiro – RJ
Tel.: (21) 3545-4504
Fax: (21) 3545-4482/4600

e-mail.: ipr@dnit.gov.br

TÍTULO: **MANUAL DE PROJETO E PRÁTICAS OPERACIONAIS PARA SEGURANÇA NAS RODOVIAS**

Elaboração: DNIT / ENGESUR
Contrato: DNIT / ENGESUR 264 / 2007 – DIREX

Aprovado pela Diretoria Colegiada do DNIT em 28 / 09 / 2010

Processo Administrativo: 50607.000990/2010-13

Impresso no Brasil / Printed in Brazil

APRESENTAÇÃO

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), dando prosseguimento ao Programa de Revisão e Criação de Normas e Manuais Técnicos, vem oferecer à comunidade rodoviária o "Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias", fruto da tradução do "*Highway Safety Design and Operations Guide – AASHTO – 1997"*, complementada com recomendações das mais recentes publicações técnicas sobre o assunto, incluindo a experiência nacional, conforme bibliografia apresentada.

Este Manual vem dar prosseguimento aos trabalhos iniciados em 1974 pelo IPR, quando foi constituído um Grupo Multidisciplinar destinado a realizar pesquisas na área de segurança de tráfego. Esse grupo procedeu a um apurado levantamento bibliográfico – nacional e estrangeiro – e verificou a extrema carência de textos, em português, sobre assuntos de projetos e operação rodoviários sob o enfoque da segurança de tráfego.

Considerou-se, na ocasião, a necessidade de proceder à tradução e divulgação de textos de reconhecido valor sobre o assunto. Numa primeira seleção, reconheceu-se como da maior utilidade a tradução das duas edições (1967 e 1974) da publicação da AASHTO: "*Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety*", conhecidas como "*Yellow Book*". Tendo a AASHTO, em 1997, publicado uma atualização dos manuais anteriores, com o título de *Highway Safety Design and Operations Guide*, o IPR julgou necessário proceder ao desenvolvimento de um manual que contivesse, além da experiência da AASHTO, informações mais atualizadas concernentes à segurança rodoviária.

Não se pretende apresentar uma relação de normas a serem obedecidas ou um manual detalhado de projetos. O Manual é destinado a servir como guia, devendo ser cuidadosamente examinado quanto à sua aplicabilidade a cada local em particular, sob as circunstâncias próprias, e à sua aceitação como solução quanto aos aspectos da segurança, impacto ambiental e viabilidade em termos de custos. Uma avaliação segura dos fatos e o correto emprego da engenharia conduzirão à implantação da solução mais apropriada.

Engº Civil CHEQUER JABOUR CHEQUER
Gerente de Projeto – DNIT
Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia

CVC – Combinação de veículos de carga

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

FHWA – Federal Highway Administration

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

ITE – Institute of Transportation Engineers

LED – Light Emiting Diod

MUTCD – Manual on Uniform Traffic Control Devices

NCHRP – National Cooperative Highway Research Program

TRB – Transportation Research Board

UCP – Unidade de carros de passeio

VOE – Veículo de ocupação elevada

VMD – Volume médio diário

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELAS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

O Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias tem por objetivo apresentar os conceitos necessários para aumento da segurança na operação e administração das rodovias. Representa o resultado da utilização de estudos conduzidos pela *American Associaton of State Highway and Transportation Officials* – AASHTO e pela *Federal Highway Administration* – FHWA para criação de um guia de projeto e operação de rodovias que desse especial ênfase à segurança rodoviária. Com base no guia elaborado – *Highway Safety Design and Operation Guide* – 1997 e nas recomendações das mais recentes publicações sobre o assunto, procedeu-se à elaboração do presente Manual.

As condições que levaram à publicação do manual *Highway Safety Design and Operation Guide* – 1997 são apresentadas a seguir.

Em 1967, a AASHTO publicou o manual *Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety*, que se tornou conhecido como "*Yellow Book*". Incluía a discussão, comentários e recomendações concernentes aos vários aspectos do projeto rodoviário e às práticas relacionadas com a segurança. A FHWA recomendava sua aplicação em rodovias com velocidades de projeto superiores a 80 km/h e mesmo para velocidades menores, quando se revelasse praticável.

Em 1974, o "*Yellow Book*" foi atualizado, ampliando a substância e a cobertura da publicação anterior. Nesse mesmo ano, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR, tendo em vista a carência de textos sobre a matéria, considerou a necessidade de proceder à tradução e divulgação das duas edições (1967 e 1974), que receberam o título de Projeto e Práticas Operacionais Rodoviárias Relativas à Segurança do Tráfego Rodoviário. Essa publicação aumentou o interesse dos planejadores, projetistas e operadores de rodovias para a necessidade da incorporação da segurança nas suas rotinas de trabalho.

Em outubro de 1991, a FHWA apresentou à AASHTO o texto de uma proposição para atualização do "*Yellow Book*". O novo texto focalizava a ocorrência de novas informações e dava ênfase a práticas bem conhecidas de segurança que não estavam sendo plenamente utilizadas. O documento resultante, o *Highway Safety Design and Operation Guide*, publicado em 1997, apresenta o resultado da combinação dos esforços já feitos com as conclusões obtidas em novas pesquisas e com a aplicação de práticas comprovadas de engenharia. A publicação contém as tecnologias que representam o estado da arte atual e devem ser aplicadas para que se atinja um nível seguro para o tráfego.

A obtenção e conservação da segurança rodoviária não constituem programas estáticos. Os esforços atuais na redução dos acidentes e dos casos fatais, embora louváveis, devem ser continuamente

melhorados, caso se deseje atingir as metas almejadas. Deve ser dada uma atenção contínua ao desenvolvimento de novos métodos e técnicas de segurança, bem como à melhoria e refinamento das práticas existentes, como resultado dos programas de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, cabe a observação de que todas as medidas de segurança podem se tornar inócuas sem a atuação permanente e rigorosa da fiscalização por parte da autoridade rodoviária.

Presentemente, encontram-se em andamento muitas pesquisas nas áreas pertinentes à segurança. Este manual foi preparado com o pleno conhecimento da natureza dinâmica da situação, refletindo as melhores informações disponíveis por ocasião de sua publicação. Não deve ser ele tomado, em qualquer circunstância, como um julgamento das práticas do passado, nem tampouco para evitar futuras alterações decorrentes de um conhecimento crescente, obtido através da experiência e pesquisas sobre o assunto.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1. MUDANÇAS NO AMBIENTE RODOVIÁRIO

Os diversos manuais já elaborados e em processo de elaboração pelo DNIT têm procurado acompanhar as mudanças havidas no ambiente rodoviário. Pelo menos três características básicas são criadoras potenciais de problemas de segurança:

- Dimensões dos veículos;
- Motoristas idosos;
- Congestionamentos.

2.1.1. Dimensões dos veículos

Os veículos de passeio são hoje menores e de mais baixa potência que os mais antigos e, a se concretizarem as previsões de escassez de petróleo e de aumento dos cuidados com o meio ambiente, principalmente o efeito estufa, deve-se manter essa tendência.

A redução das dimensões e potência dos carros de passeio consiste um importante ganho em termos ecológicos, mas uma perda, no que se refere à segurança. A menor potência dos veículos se traduz em perda de aceleração, essencial em situações perigosas, como nas ultrapassagens. As menores dimensões têm, também, relação direta com a vulnerabilidade dos veículos: nos Estados Unidos alguns estudos concluíram que os veículos menores têm 2,5 a 3 vezes o número de casos fatais que os grandes veículos, em caso de acidentes.

Os veículos de carga, ao contrário, têm crescido em comprimento e capacidade de carga. A legislação em vigor permite atualmente veículos compostos de até quatro unidades, com comprimento de 30 m, embora com algumas restrições.

Esses veículos, com suas maiores dimensões, têm evidenciado a necessidade de alterações nas características básicas dos veículos de projeto, para considerar as mudanças necessárias nos valores de superlargura, distâncias de visibilidade de parada e de ultrapassagem etc.

Os veículos de transporte coletivo sofrem variações menos drásticas e, pela sua participação inferior no tráfego, têm menor efeito no seu conjunto.

2.1.2. Motoristas idosos

A maior disponibilidade de recursos e expectativa de vida tem aumentado a participação de motoristas mais idosos, modificando o perfil etário da classe.

A experiência dos Estados Unidos mostra que os motoristas entre 35 e 75 anos de idade apresentam o menor grau de envolvimento em acidentes, que pouco varia nesse intervalo. Abaixo dos 25 anos e acima dos 75 aumenta rapidamente o grau de participação em acidentes. O aumento na participação de motoristas mais velhos é um fator negativo para a segurança.

2.1.3. Congestionamentos

A variação demográfica, o aumento e modificação da composição do tráfego, bem como o desenvolvimento da região atravessada, introduzem problemas e graus de congestionamento não previstos por ocasião do projeto da rodovia. O aumento do custo dos terrenos marginais, do número de acessos necessários e os problemas criados por novas interseções dificultam a adoção de medidas necessárias para garantir condições adequadas de segurança.

2.2. PLANEJAMENTO PARA O FUTURO

2.2.1. Previsão do uso futuro

Um fator importante na manutenção da segurança é a antecipação do desenvolvimento futuro e do uso da rodovia, de modo a poder investigar suas implicações. Cada ano são efetuadas correções de deficiências operacionais e de segurança e de medidas destinadas a aumentar a vida da rodovia. É necessário que, paralelamente, seja analisado como todas essas deficiências e correções podem afetar a segurança. Deve ser feito adequado planejamento do desenvolvimento do tráfego e de suas funções futuras, para identificar o caráter futuro da via (rural, da fazenda para o mercado; comércio suburbano etc.). A identificação adequada da sua vocação permite prever com mais acerto as medidas de segurança a serem adotadas.

2.2.2. Aplicação da tecnologia moderna

É de se esperar que o desenvolvimento tecnológico venha aliviar muitos dos problemas atuais do tráfego. Prevê-se a aplicação de sistemas de orientação dos motoristas dentro das correntes de tráfego, complementando o sistema de sinalização atual. Haverá um relacionamento entre rodovia e veículo, provendo o motorista com informações de regulamentação, segurança e orientação quanto ao seu destino. Esses sistemas avisam os motoristas sobre perigos eminentes e operação insegura.

2.3. OBJETIVO E USO DO MANUAL

2.3.1. Objetivo

Nos últimos cinquenta anos, o Brasil construiu uma rede de rodovias rurais, urbanas e suburbanas, cobrindo quase todo o seu território, embora as vias pavimentadas constituam uma baixa percentagem do total. A ênfase futura deve ser a pavimentação das grandes extensões em terra e a adequada manutenção e melhoria das rodovias pavimentadas atuais. Nesse processo, os responsáveis

pelas rodovias devem considerar as consequências para a segurança do tráfego rodoviário. Este Manual identifica melhorias em segurança para quase todos os tipos de projetos rodoviários, particularmente no que se refere ao tratamento superficial, reabilitação e restauração de rodovias. Pode ser usado, também, como uma base para planejamento, desenvolvimento e avaliação de projetos. O Manual tem três objetivos:

- Enfatizar a necessidade de se incorporar os padrões e práticas atuais de segurança em todos os projetos, com a maior abrangência possível;
- Introduzir e consolidar novas informações relativas à segurança;
- Sugerir como situações existentes podem ser melhoradas para atender aos padrões atuais e às futuras necessidades.

2.3.2. Aplicação

O Manual apresenta projetos e práticas operacionais para diversas situações de todos os tipos de rodovias. O seu conteúdo foi obtido de resultados de pesquisas, de experiências bem ou mal sucedidas e da literatura técnica existente. Deve ser encarado não como um documento isolado, mas como complemento aos demais manuais do DNIT e à literatura técnica a que faz referência.

2.3.3. Organização

Este Manual é dividido em 07 (sete) Seções. A Seção 1 é constituída pela Introdução. A Seção 2 apresenta considerações gerais sobre o assunto, incluindo a presente organização. A Seção 3 cobre as implicações, em termos de segurança, dos vários conceitos de projeto que, em sua maior parte, se aplicam a todas as classes de rodovias e ruas. As Seções 4 a 6 referem-se à aplicação dos diversos elementos de projeto, especificamente a vias expressas, rodovias rurais e vias urbanas e suburbanas, respectivamente. A Seção 7 é voltada ao papel da manutenção e inspeção na preservação dos padrões de segurança das rodovias. O Manual contém ainda um Anexo com informações e elementos de interesse extraídos da publicação *Road Safety Manual* – World Road Association – 2003.

A bibliografia consultada é relacionada ao final do trabalho.

3. CONCEITO DE PROJETO VISANDO À SEGURANÇA

3. CONCEITO DE PROJETO VISANDO À SEGURANÇA

O grau de segurança de uma rodovia depende das medidas tomadas com esse objetivo, desde a fase de planejamento até a sua abertura ao tráfego. A falta de atenção a problemas aparentemente pequenos, na fase de planejamento, pode revelar-se desastrosa quando a rodovia é aberta ao tráfego. A combinação desses problemas pode adquirir proporções que somente serão visíveis a posteriori, exigindo correções que representam custos adicionais desnecessários.

O projetista tem que reconhecer e tirar proveito de todas as oportunidades para criar uma rodovia segura. Os conceitos gerais que são apresentados a seguir têm o objetivo de ajudar os planejadores e projetistas a identificar os possíveis problemas e as oportunidades de melhorar as condições de segurança de todos os tipos de rodovias. As rodovias de grande volume de tráfego, que adotam controle de acesso e a separação das correntes de sentidos contrários, por exemplo, apresentam condições de segurança muito superiores às demais. Infelizmente não se podem projetar todas as rodovias atendendo a essas condições. A limitação de recursos exige que rodovias de baixo volume de tráfego sejam construídas com condições inferiores.

3.1. NÍVEIS DE SEGURANÇA DAS RODOVIAS

3.1.1. Estatísticas de acidentes

O grau de segurança de uma rodovia é normalmente indicado por estatísticas de acidentes, que fornecem os números de mortos e feridos por veículos-quilômetros de viagens. Essas estatísticas fornecem o risco relativo de viajar em uma determinada rodovia. A título ilustrativo apresenta-se a Tabela 1, que contém as taxas de acidente relativas a diversos tipos de rodovias e locais, com base em informações dos Estados Unidos.

Verifica-se que o sistema interestadual de rodovias apresenta os menores números relativos de mortos e feridos, devido aos cuidados com a segurança, que incluem controle de acessos, pistas separadas para cada sentido e largas áreas laterais livres. Os demais tipos não têm projetos com o mesmo grau de qualidade, no que se refere à segurança.

Cabe observar que as taxas de acidentes não indicam, por si só, onde devem ser empregados mais recursos, para que se obtenha o máximo de segurança do sistema. O volume de tráfego de cada rodovia é o fator complementar necessário para obter o seu número de acidentes. No exemplo americano, o sistema interestadual, com menores taxas de acidentes, representando apenas 1% das rodovias, transporta 25% das viagens, medidas em veículos-quilômetros. O número de acidentes fatais por 1.000 km é aproximadamente 62. As classes mais baixas de rodovias apresentam taxas de acidentes bem maiores, mas transportam volumes muito inferiores de tráfego, apresentando números

de acidentes sensivelmente menores. Justifica-se, assim, maior investimento em segurança no sistema interestadual que nos demais.

Tabela 1 - Taxas de acidentes por tipo de rodovia

Tipo de Rodovia		Acidentes Fatais por 100 Milhões de Veículos-Quilômetros	Acidentes com Feridos por 100 Milhões de Veículos-Quilômetros
Urbana	Interestadual	0,34	24
	Arterial primária	0,81	74
	Outras arteriais	0,69	88
	Coletora	0,55	76
	Local	1,04	120
Rural	Interestadual	0,63	13
	Arterial	1,31	35
	Coletora	1,81	59
	Local	2,26	109

Fonte: Highway Safety Performance, FHWA-SA-95-030, U.S. Department of Transportation, 1995.

3.1.2. Causas de acidentes

Grande número de pesquisas tem constatado que erros dos motoristas constituem o principal fator em 85% dos acidentes, levando muitos a crer que pouco o engenheiro rodoviário pode fazer para aumentar a segurança da rodovia. Na verdade, um bom projeto, que incorpore medidas de segurança, pode reduzir o potencial de erro e as consequências dos acidentes. Exemplos dessas medidas são o controle total de acesso e a área livre de recuperação marginal. O controle total de acesso a uma rodovia é tido como o fator de projeto mais significativo para a segurança, diminuindo a frequência e a variedade dos eventos que exigem a atuação dos motoristas. De fato, pesquisas sobre acidentes, realizadas no sistema interestadual de rodovias americanas, indicam que esta variável foi a que mais contribuiu para a redução dos acidentes. Por sua vez, a inclusão de áreas livres de recuperação marginal adequadas, em uma rodovia de alta velocidade, representa um benefício substancial, do ponto de vista da segurança. Estudos têm indicado que uma largura de 9 m ou mais, a partir da borda da pista de rolamento, livre de obstáculos, permite que 80% dos veículos desgovernados que abandonam o leito da estrada parem com segurança ou voltem para a rodovia.

3.2. MONITORAMENTO DA SEGURANÇA

Cada órgão rodoviário deve possuir um programa de segurança capaz de orientar a aplicação dos recursos disponíveis, com vistas a proporcionar o máximo de benefícios, tanto para as rodovias novas ou reconstruídas, quanto para os melhoramentos a introduzir nas já existentes. Devem ser considerados:

a) Inventário

Um sistema capaz de identificar os locais perigosos através do histórico dos acidentes, observações de campo e outros métodos, de uma maneira rotineira, sistemática e continuada. Devem ser investigadas, com rigor, todas as oportunidades para obter melhorias nas condições de segurança.

b) Análise

Um sistema capaz de analisar as várias soluções alternativas e avaliar os benefícios de cada uma delas, resultando na escolha da solução mais eficiente em termos de custo.

c) Prioridades

Uma ordenação dinâmica capaz de identificar as prioridades dos diferentes locais em ordem decrescente de importância, de forma tal que os recursos disponíveis possam ser aplicados, em primeiro lugar, aos itens mais necessários.

d) Implantação

Um sistema de planejamento capaz de ordenar a implantação dos trabalhos identificados como necessários, utilizando, para isso, os recursos existentes em quantidade proporcional às necessidades da segurança.

e) Avaliação

Um sistema de avaliação dos resultados "antes e depois", capaz de indicar a eficiência das soluções que forem implantadas e um método de divulgação do que foi executado, de forma tal que as prioridades e soluções para locais semelhantes possam ser reajustadas, à medida que forem desenvolvidas novas e melhores técnicas.

A manutenção adequada de uma rodovia prevê a reabilitação ou reconstrução de muitos de seus trechos, em função de sua deterioração com o tempo e o uso, criando oportunidades para a incorporação de medidas de segurança, de forma eficiente. Os projetistas devem caracterizar, de forma convincente, a necessidade das medidas de segurança, já que a redução de riscos diminui os custos dos acidentes para a sociedade como um todo, e esses recursos são sempre limitados.

O monitoramento da segurança consiste na integração dos cuidados com a segurança nos processos de decisão do planejamento, projeto, construção, manutenção e operação dos programas e atividades rodoviárias. Sua atuação começa na fase de planejamento e orçamento do programa de desenvolvimento, quando as decisões sobre o tipo e escopo dos projetos são tomadas. Trata-se de um

processo dinâmico, em que as informações sobre volumes de tráfego, acidentes e operação das rodovias são coletadas, atualizadas e usadas nos processos de tomada de decisão.

O monitoramento da segurança deve incluir:

- Coordenação e integração dos programas de segurança dos órgãos envolvidos com a segurança: comunidade, administração das rodovias, e responsáveis pela regulamentação dos veículos rodoviários;
- Identificação, localização e investigação de problemas potenciais de segurança, inclusive nas travessias de ferrovias; estabelecimento de medidas de correção e prioridades para atuação;
- Garantia da consideração da segurança em todos os programas e projetos de transporte;
- Identificação das necessidades de grupos especiais de usuários (motoristas idosos, ciclistas, motociclistas, veículos comerciais, transportadores de produtos perigosos) no planejamento, projeto, construção e operação do sistema de rodovias;
- Manutenção adequada da rodovia e execução de melhoramentos dos equipamentos de segurança (incluindo os dispositivos de aviso aos motoristas nas travessias de ferrovias).

O monitoramento da segurança deve identificar os responsáveis pelos procedimentos de manutenção, para sua notificação oportuna, e reparo ou substituição de equipamento de segurança danificado, atualização periódica das especificações padronizadas e planos para construção e manutenção das vias, análise dos acidentes, consideração dos problemas de segurança e inclusão das necessidades de melhorias no processo de estimativa de custos.

Boa administração da manutenção resulta, também, em menor responsabilidade legal por danos sofridos em acidentes nas rodovias.

3.3. CONSIDERAÇÕES GERAIS DE PROJETO

3.3.1. Critérios de projeto desejáveis e mínimos

No planejamento e projeto de rodovias seguras, a primeira decisão básica é o tipo de rodovia necessário e o nível de serviço a considerar. A segunda decisão crítica é a seleção dos critérios de projeto. Para muitos dos elementos do projeto há um intervalo de valores a serem adotados, variando entre níveis mínimo e máximo. Não se deve optar sempre pelos padrões mínimos. Embora os padrões mais altos tenham maior custo inicial, podem resultar em vantagens a longo prazo, principalmente quando se espera maior demanda e variedade de veículos no futuro. Problemas surgem quando necessidades adicionais são impostas a rodovias existentes, com limitações de projeto e de faixa de

domínio, principalmente em rodovias de grande volume de tráfego e altas velocidades, onde o desenvolvimento marginal pode resultar em maiores volumes de acessos e conflitos de tráfego.

Os critérios mínimos de projeto podem não assegurar níveis de segurança adequados em todas as situações. Quando são considerados simultaneamente, podem não atender às necessidades potenciais da rodovia. Por exemplo, em uma interconexão, uma faixa de desaceleração de comprimento mínimo combinada com um ramo de saída em laço (*loop*), de raio mínimo, pode causar problemas operacionais e de segurança, principalmente para grandes caminhões.

O desafio enfrentado pelo projetista é atingir o maior grau de segurança dentro dos limites técnicos e financeiros de um projeto. Exige que o projetista utilize valores acima dos mínimos para encontrar a situação adequada para cada caso. É necessária uma análise conjunta dos custos e resultados esperados, incluindo a segurança. Em anos recentes têm sido desenvolvidos processos de análise que devem ser considerados pelos projetistas.

3.3.2. Fatores humanos

Erro do motorista é o fator mais citado com referência a acidentes. A compreensão dos fatores humanos – características, habilidades, atuação e limitações dos motoristas, ciclistas e pedestres – é essencial para um bom projeto de rodovia, para a operação do tráfego e para a segurança. Essa compreensão habilita os engenheiros rodoviários a desenvolver projetos, selecionar as informações a incluir na sinalização e estabelecer procedimentos que ajudem os motoristas a não cometer erros. Ajuda, também, a considerar a natureza de uma população mais idosa e a prever procedimentos que atendam suas características.

a) Fatores que provocam erros dos motoristas

Erro do motorista pode ocorrer por diversas razões: pouca habilidade de direção, deficiências do projeto, ausência de informações essenciais e acúmulo de informações. Medidas para mitigar essas deficiências podem melhorar a qualidade da operação da rodovia e aumentar a segurança.

A chave para a direção com sucesso é a coleta eficiente e o uso adequado da informação visual. Os motoristas têm que executar diversas tarefas em períodos muito curtos. Suas necessidades de informação têm que ser atendidas. O nível de atendimento dessas informações depende do projeto, do meio ambiente e dos dispositivos de controle de tráfego que fornecem as informações necessárias no lugar certo e no tempo certo. Os planejadores, projetistas e operadores devem determinar as informações necessárias, onde devem ser localizadas e a forma de apresentá-las. O objetivo a atingir é maximizar a compreensão de situações que podem levar a erros.

b) Orientação positiva

É importante compreender que a própria rodovia fornece informação aos motoristas. Orientação positiva é o procedimento de identificar deficiências de informação e provê-las, onde e quando forem necessárias, na forma mais adequada para atender às suas finalidades. Parte-se do princípio de que motoristas, ciclistas e pedestres, em rodovias adequadamente projetadas e providas de dispositivos de controle de tráfego, têm melhores condições para evitar erros. De forma contrária, se os projetos forem deficientes, houver defeitos de construção ou má conservação da rodovia, se as informações recebidas pelos usuários forem deficientes ou erradas, serão cometidos erros. Um exemplo de informação deficiente fornecida pela própria rodovia é uma saída à direita, em um ponto de uma curva à esquerda, por um ramo de acesso tangente à curva. Se uma curva vertical convexa incluir o ponto de saída, diminuindo a visão da continuação da rodovia, é possível que algum usuário considere a saída como a própria rodovia, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Condição geométrica de rodovia que confunde os motoristas

Os engenheiros devem analisar e diagnosticar problemas da rodovia em locais específicos e desenvolver soluções que os eliminem. São combinados os métodos de engenharia de projeto e de tráfego com a compreensão de fatores humanos, de modo a atender às necessidades de informação de cada local.

Embora a orientação positiva se aplique a um grande número de problemas, sua aplicação básica é no desenvolvimento de melhorias de baixo custo e de maior utilidade no sistema de informações.

c) Os idosos

À medida que a população cresce, os planejadores e projetistas mais têm que levar em conta as necessidades dos idosos. A maioria deles mantém suas licenças e dirigem diariamente. Muitos passam a ter menor capacidade de compreender e utilizar as informações recebidas e menor acuidade visual e de audição, que vão piorando com a idade. Problemas comuns são:

- Menor visão noturna;
- Demora na recuperação do efeito de luzes ofuscantes;
- Menor acuidade visual;
- Perda de audição;
- Aumento do tempo de reação a informações;
- Perda de memória de curto prazo;
- Atenção reduzida.

Os idosos compensam alguns dos problemas, dirigindo vagarosamente, evitando situações estressantes e utilizando sua maior experiência. Entretanto, apresentam índices de acidentes superiores aos médios e necessitam de medidas especiais para sua segurança e mobilidade. Medidas operacionais específicas para atender às necessidades dos idosos incluem:

- Aplicação mais frequente da distância de visibilidade para tomada de decisão em situações complexas;
- Maior uso de sinais de controle de tráfego e sinais de mensagem simples, grandes, claros e facilmente compreensíveis;
- Uso de sinais e marcas no pavimento para situações especiais, redundantes e apresentados antecipadamente.

Maiores e mais largas marcas no pavimento e letras maiores nas placas de sinalização também têm-se revelado especialmente úteis para os motoristas idosos.

3.3.3. Projeto consistente

Define-se como projeto consistente aquele que evita mudanças bruscas nas características geométricas dos elementos das rodovias e procura utilizar elementos de projeto em combinações que vão ao encontro das expectativas dos motoristas. Um projeto consistente é extremamente importante, porque os motoristas experimentados aprendem subconscientemente o que esperar em certas condições e como reagir. Inconsistências do projeto de tais elementos, como alinhamento da rodovia,

configuração da interseção, operação e fases dos semáforos, localização de pontos de acesso, áreas laterais livres de interferências, zonas de ultrapassagem e seleção e localização de sinais podem ir contra as expectativas dos motoristas e contribuir para indecisão e erro. Por exemplo, no caso de uma série de curvas fechadas com características consistentes e sem longas seções em tangente, o alinhamento atua como controle e resulta em velocidades de operação consistentes com o caráter da rodovia. Entretanto, curvas ou elementos que apresentam diferenças substanciais podem causar problemas, porque tendem a violar as expectativas.

Tendo em vista o reconhecimento de que inconsistências em alguns elementos estão presentes em quase todos os projetos de rodovias, os projetistas devem minimizar as inconsistências, ao mesmo tempo em que, nos locais em que são inevitáveis, adotar medidas que impeçam que a operação da rodovia seja insegura. De um modo geral, a consistência é mais facilmente alcançada, selecionando critérios para todos os elementos críticos de projeto, em um sistema viário, do que para cada local em particular.

3.4. ELEMENTOS DE PROJETO

3.4.1. Velocidade de projeto

A determinação da velocidade de projeto adequada é um dos passos iniciais do planejamento e desenvolvimento de qualquer projeto de rodovia. A importância de sua seleção é fundamental, porque quase todos os critérios de projeto e de operação da rodovia e de sua área marginal são influenciados pela velocidade. Para construção nova ou projetos de reconstrução, reabilitação e recapeamento, a velocidade de projeto deve satisfazer às expectativas dos usuários para o tipo e caráter da rodovia. Para o caso de reconstrução, reabilitação e recapeamento, deve refletir as velocidades de operação reais e não necessariamente o limite legal de velocidade. Os motoristas tendem a aceitar um menor limite de velocidade, onde as dificuldades das condições reais são óbvias, do que onde não há razão aparente. Na maioria dos casos, os motoristas ajustam suas velocidades às limitações físicas e de tráfego. Naturalmente, há exceções, onde é impraticável prover geometria e condições marginais para a velocidade de projeto escolhida. Para essas situações, deve ser adotado algum método para avisar os motoristas, tais como sinais de advertência e de velocidade permitida antes das curvas muito fechadas.

No projeto de um trecho extenso de rodovia, é desejável admitir uma velocidade de projeto constante. Mudanças na topografia e outras condições podem tornar necessária uma mudança dessa velocidade em certas seções, dentro dos limites do projeto e nos seus pontos terminais. Onde isso ocorrer, trechos de transição, como longos tapers de redução de largura da faixa de tráfego ou dos

acostamentos, devem ser usados para modificar a velocidade operacional, seguindo os princípios de orientação positiva.

3.4.2. Alinhamentos horizontal e vertical

A adoção de critérios ótimos de projeto para os alinhamentos horizontal e vertical permite uma viagem confortável e esteticamente agradável. Além disso, mais importante para a segurança, pois fornece grandes distâncias de visibilidade para o motorista. No entanto, pode não ser possível satisfazer a esses critérios para todas as curvas. Deve haver um exame de locais específicos, para se ter certeza de não haver condições perigosas ou que potencialmente o sejam. Quando curvas horizontais de raio mínimo ou inferior tiverem que ser adotadas ou mantidas, os projetistas devem examinar a conveniência de adotar maiores taxas de superelevação ou usar áreas marginais mais largas e livres nessas curvas, para minimizar seu impacto. A superelevação adotada deve ser consistente com as condições físicas locais.

Embora distâncias de visibilidade de parada sejam usualmente suficientes para o projeto horizontal e vertical, a distância de visibilidade para tomada de decisão deve ser usada no projeto de vias expressas, especialmente em locais de maior complexidade e aspectos inesperados. Esse tipo de distância é necessário sempre que há possibilidade de erro na recepção de informação, na tomada de decisão ou controle das ações. Interconexões complexas, saídas pela esquerda, modificações na seção transversal, redução de faixas de tráfego e praças de pedágio são exemplos de locais críticos frequentemente encontrados em vias expressas, onde esses tipos de erros costumam aparecer e onde é desejável dispor de distância de visibilidade para tomada de decisão.

Greides suaves combinados com seções mínimas e curvas de grandes raios tendem a fazer que a água das chuvas siga rotas excessivamente longas até atingir a borda da pista. Isto é perceptível nas áreas compreendidas entre uma seção normal e a seção superelevada de uma curva com greide suave, e resulta em uma camada de maior lâmina d'água, mesmo em chuvas fracas, aumentando a possibilidade de aquaplanagem.

3.4.3. Controle de acessos

O controle de acessos é um dos fatores mais significativos em uma rodovia segura e de operação eficiente. Os benefícios do controle pleno de acesso foram demonstrados no estudo *Interstate System Accident Research Study*, FHWA, 1970. Esse estudo concluiu que os índices de acidentes, feridos e casos fatais nas estradas interestaduais norte-americanas caíram de 30% a 76%, com a imposição das medidas de controle.

Em rodovias sem controle total de acessos, o seu monitoramento eficiente, principalmente nas interseções, é essencial para uma operação eficiente e segura. Monitoramento de acessos é a prática de controlar os acessos a propriedades marginais, regulamentando localização, número, espaçamento, projeto, aberturas nos canteiros centrais e semáforos do sistema de rodovias. É essencial para aumentar a segurança e melhorar a operação de sistemas com grandes volumes de tráfego, onde pontos de conflito existem ou são previstos.

3.4.4. Pavimentos

Um bom pavimento deve suportar os efeitos do mau tempo, permitir deslocamento suave, não causar desgaste excessivo dos pneus nem ruídos altos, ter estrutura forte, resistir ao desgaste, permitir o escoamento das águas (drenagem) e ter boa resistência a derrapagens. O grau de atendimento a esses atributos caracteriza a segurança da rodovia. A resistência à derrapagem é particularmente importante.

A interação da superfície do pavimento com os pneus é crítica no controle e parada de um veículo. A área de contato de um pneu de um carro de passeio típico tem apenas o tamanho de uma mão. A área total de contato de todo o veículo com o pavimento é, portanto, muito pequena. Praticamente todos os pavimentos secos provêm atrito suficiente para o movimento seguro dos carros. No entanto, quando os pavimentos têm características inferiores de resistência à derrapagem, uma camada de 0,02 mm de água pode reduzir em 75% o atrito entre os pneus e o pavimento. Essa camada pode ser atingida com uma chuva de 0,20 mm, durante uma hora. Os pavimentos devem ser projetados e conservados, de modo que permitam o fluxo de água para fora da sua superfície e que mantenham coeficiente de atrito adequado durante sua vida útil.

3.4.5. Áreas marginais

Cerca de 60% de todos os acidentes fatais envolvem apenas um veículo (em áreas rurais, a proporção é ainda maior); 70 % deles envolvem veículos que abandonam a pista de rolamento e capotam ou batem em objeto fixo. As razões para a saída da rodovia variam; a maioria não é intencional e resulta de erros dos motoristas, como velocidade excessiva, sono, fadiga, falta de atenção, atuação irresponsável, redução de habilidade pelo uso de álcool ou drogas, ou combinações dessas causas. Algumas saídas são intencionais, por exemplo, para evitar um veículo vindo em sentido contrário ou um objeto derrubado na rodovia. Qualquer que seja o motivo, o motorista que sai da rodovia frequentemente está exposto a uma situação perigosa.

O conceito de área livre, isto é, uma área adjacente à pista, na qual a declividade transversal, a superfície e a ausência de obstáculos fixos pudessem permitir a recuperação de um veículo que saísse da rodovia, é importante, por resultar em uma rodovia mais segura. Orientação inicial sobre esse

conceito surgiu em 1974, na publicação da AASHTO *Highway Design and Operational Practices Related to Highway Safety,* que recomendava uma faixa livre de 9 m, medida a partir da borda da pista de rolamento. Experiência posterior levou a um refinamento considerável desta orientação inicial, com uma área livre variável, dependendo da velocidade de projeto, do volume médio diário de tráfego e dos seguintes elementos geométricos da rodovia: curvatura horizontal, localização em corte ou aterro, inclinação lateral do terreno, presença ou não de taludes de rodovias próximas e inclinação desses taludes.

De forma ideal, a área livre deve apresentar inclinações transversais que não provoquem a capotagem de veículos e não deve conter objetos fixos. Embora uma superfície com inclinação transversal de 1V:3H seja tecnicamente transponível por um veículo de passeio, é de valor marginal para a segurança. Motoristas que saem da rodovia e tentam recuperar o controle dos seus veículos frequentemente não podem frear ou dirigir adequadamente em uma inclinação de 1V:3H. Esta inclinação torna-se potencialmente perigosa, quando elementos, como valetas para erosão ou árvores, são localizados na sua superfície ou próximas a ela. Em seções de aterro, uma inclinação de talude de 1V:4H, ou menor, dentro dos limites da área livre (ou passando um pouco), tem sido adotada em projetos recentes. O deslocamento do equipamento rodoviário para áreas menos vulneráveis fora da zona livre é preferível. Onde isso não for possível, devem-se adotar projetos que tornem esses elementos frágeis a batidas, de modo que não ofereçam perigo, quando atingidos por um veículo. Objetos fixos não suscetíveis a esse tratamento devem ser protegidos por barreiras adequadamente projetadas ou por defensas que absorvam os choques. Obstáculos que não podem ser tratados por uma dessas maneiras devem ser adequadamente caracterizados para alertar os motoristas.

Para todos os tipos de projeto, a localização de zonas livres deve ser determinada ou identificada e áreas seguras devem ser criadas. Programas devem ser estabelecidos para assegurar que essas áreas sejam mantidas durante a vida útil da rodovia. É igualmente importante compreender que um veículo pode facilmente ultrapassar os seus limites e que, sempre que viável, devem ser implementados os conceitos de segurança, além desses limites. Muitos dos tratamentos de segurança disponíveis atualmente, tais como suportes de sinais derrubáveis por colisões e coberturas de valetas transponíveis, custam o mesmo que os dispositivos anteriores.

3.4.6. Caminhões

Muitos dos padrões adotados para o projeto de rodovias são baseados em características dos carros de passeio, embora as características dos caminhões possam ser mais críticas. Consequentemente, há necessidade de se reexaminar os critérios de projeto, para que sejam considerados os veículos atuais ou previstos para uso futuro.

Pesquisas têm estabelecido critérios que são sensíveis às características dos caminhões. Incluem distância de visibilidade de parada, geometria nas interseções, canalização, alargamento das pistas de rolamento nas curvas, gabarito vertical e sinais de advertência. Mudanças em vários padrões são necessários, mas pode demorar algum tempo até que se possam mudar as normas que regem os padrões adotados.

Para acomodar grandes caminhões com maior segurança, é importante considerar suas características nos projetos de rodovias que apresentam volumes significativos de grandes caminhões. O Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas, DNIT, 2010, inclui estudo detalhado dos atuais veículos de carga de grandes dimensões e de seus reflexos no projeto geométrico de rodovias e interseções.

3.4.7. Pedestres e ciclistas

Pedestres e ciclistas constituem uma porção crescente como usuários, e atenção deve ser dada à sua presença nas áreas rurais e urbanas. Todas as rodovias que não têm controle pleno de acesso devem ser planejadas, construídas, operadas e conservadas, considerando o uso e as necessidades dos pedestres e ciclistas. É frequentemente difícil acomodar, com segurança, pedestres e ciclistas em áreas urbanas, principalmente quando não são considerados durante o processo de planejamento e projeto de uma rodovia. Tanto nas áreas rurais como urbanas, os planejadores têm que considerar a evolução da área. Os planejadores e projetistas devem desenvolver projetos que satisfaçam às necessidades futuras dos pedestres e ciclistas. A faixa de domínio adicional necessária para acomodar pedestres e ciclistas deve ser identificada e adquirida, sempre que for viável. Os projetistas devem prever passeios laterais, travessias de pedestres, ilhas de proteção, detectores de pedestres nos semáforos, faixas para ciclistas, passagens mistas de ciclistas e pedestres, interrupções em meios-fios, para acomodar rampas de pedestres para pessoas mais idosas e com problemas especiais.

Pedestres e ciclistas incluem pessoas de todas as idades e habilidades. Suas ações são menos previsíveis que as dos motoristas. Não há cursos especiais ou licenças para andar ou dirigir uma bicicleta, e a fiscalização para obrigar a obedecer às leis de tráfego é, na melhor das hipóteses, muito frouxa. Os engenheiros devem considerar essa situação e o fato de que as rodovias são projetadas para atender mais aos motoristas que aos outros usuários. Projetar tendo em mente as necessidades dos ciclistas e pedestres torna mais fácil acomodar todos os usuários. O Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas apresenta as características das ciclovias, faixas para ciclistas e travessias de pedestres a serem consideradas.

3.4.8. Condições adversas do meio ambiente

As condições adversas do meio ambiente, como chuvas e nevoeiros, são condições temporárias que aumentam os riscos das rodovias. Pesquisas feitas nos Estados Unidos mostram que 14% dos

acidentes fatais e 20% dos acidentes, em geral, ocorrem em pavimentos molhados. A distribuição dos acidentes é, aproximadamente, a mesma durante as horas do dia e da noite. Considerando que o tráfego à noite é reduzido (principalmente depois das 22 horas), as estatísticas mostram que, em condições adversas, é muito mais perigoso dirigir à noite.

A chuva e os nevoeiros têm algumas características em comum e outras fundamentalmente diferentes. As duas condições reduzem a visibilidade. Dependendo da região do País, ocorre mais uma condição que a outra. Os nevoeiros são mais comuns em áreas mais altas e mais frias. De acordo com a região considerada, cada setor responsável pela rodovia deve analisar as probabilidades e épocas de sua ocorrência e determinar as medidas a tomar, em termos de sinalização e administração.

3.4.9. Monitoramento do tráfego

O monitoramento do tráfego inclui componentes humanas, institucionais, regulamentação, equipamentos e sistemas de processamento, visando, principalmente, eliminar a ocorrência de congestionamentos e reduzir sua duração. Estratégias específicas incluem supervisão, controle, sistemas de informação aos motoristas, acompanhamento dos incidentes e capacidade de implementar melhorias que reduzam engarrafamentos de origem geométrica e operacional. Embora frequentemente consideradas apenas com respeito à redução de congestionamento, as estratégias devem procurar atender a benefícios, em termos de segurança.

Contagens permanentes nos ramos de acesso, por permitirem identificar os locais de maior variação do tráfego de veículos, têm sido creditadas com a redução de 30% a 50% dos acidentes envolvendo os movimentos de incorporação de veículos, durante os períodos de pico das vias expressas urbanas. De fato, muitas agências responsáveis pela administração de rodovias nos Estados Unidos usam estatísticas determinando os locais em que os números de acidentes são superiores à média geral, como base para instalação de contagens permanentes em acessos. Programas de monitoramento de ocorrências diminuem a sua duração, com reflexos semelhantes nos congestionamentos, reduzindo o potencial de acidentes. O policiamento rodoviário e outros sistemas de detecção de incidentes podem auxiliar a localização e remoção de motoristas sem condições de dirigir, reduzindo a probabilidade de atropelamentos. Sistemas de informações aos motoristas podem manter atualizados os que já estão nas rodovias e aqueles prestes a entrar nas mesmas, quanto à situação de congestionamentos e outras ocorrências, minimizando a incidência de acidentes.

Embora muitas das reduções de acidentes e outros benefícios para a segurança, resultantes do monitoramento do tráfego, não tenham sido totalmente quantificados, não há dúvidas quanto à existência desses benefícios. Monitoramento adequado pode ser feito para qualquer sistema de

rodovias e é particularmente apropriado para vias expressas, onde as velocidades e volumes de tráfego são maiores.

3.4.10. Gerenciamento dos sistemas de transporte

Os engenheiros de transporte, em suas análises de segurança, devem levar em conta os veículos motorizados, os pedestres e as bicicletas, visando reduzir os conflitos entre essas diferentes modalidades de transporte.

Para conseguir o máximo de segurança, os pontos de conflito devem ser minimizados, limitando acessos, identificando as rotas de bicicletas e de pedestres e suas interferências com os veículos motorizados, e reduzindo o número de travessias em nível de ferrovias. Todos esses fatores devem ser considerados na fase de projeto.

Conflitos entre os modos de transporte são inevitáveis. Devem ser considerados os fatores humanos (incluindo motoristas, pedestres e ciclistas), velocidade de projeto, distâncias de visibilidade, locais potencialmente perigosos e as necessidades da sinalização, de um modo geral. Além de um projeto bem feito, os problemas podem ser amenizados com sinalização cuidadosa, incluindo marcas no pavimento e educação pública. As medidas a tomar incluem: orientação pública da correta operação de uma bicicleta na rodovia e dos perigos a que está sujeita, iluminação nos sinais para pedestres e marcas no pavimento, indicando os locais de travessia mais seguros.

3.5. SISTEMAS COMPUTADORIZADOS VISANDO AUMENTO DA SEGURANÇA

As novas tecnologias oferecem muitas oportunidades para melhoria da segurança. Sistemas inteligentes de transporte estão rapidamente passando dos conceitos para a realidade em muitas áreas de aplicação. Embora seu interesse original e suas aplicações tenham sido no sentido de evitar incidentes e melhorar a orientação dos motoristas, seu melhor resultado pode ser a melhoria da segurança. Sistemas desenvolvidos para vias expressas em Chicago (Estados Unidos) resultaram em redução de 18% dos acidentes dos períodos de pico. Os especialistas prevêem reduções substanciais nos acidentes, números de feridos e de mortos, com a adoção das tecnologias avançadas.

Enquanto muitas medidas de segurança desenvolvidas através dos anos tenham tido como objetivo a redução das consequências dos acidentes, muitas das funções dos sistemas inteligentes são orientadas no sentido de evitá-los. Tecnologias visando à identificação de problemas potenciais e a comunicação entre veículos pretendem avisar automaticamente os motoristas, provendo tempo adicional para medidas evasivas. As novas tecnologias podem, também, assumir algumas funções que são atualmente da responsabilidade dos motoristas, compensando algumas de suas limitações e

permitindo que os veículos operem com segurança, quando mais próximos. À medida que essas tecnologias sejam disponibilizadas, os responsáveis pelas rodovias devem incorporar as que se revelarem economicamente viáveis.

4. VIAS EXPRESSAS

4. VIAS EXPRESSAS

As vias expressas são as mais seguras, dentro das diversas classes de rodovias, por serem dotadas dos padrões técnicos mais elevados. O controle total de acesso é o maior fator de redução de acidentes, complementado por canteiros centrais e acostamentos mais largos, canteiros laterais livres de obstruções e o uso extensivo de barreiras de proteção. As velocidades diretrizes elevadas dessas vias, com extensas distâncias de visibilidade, devido aos grandes raios de curvatura horizontal e os suaves trechos de concordância vertical, além de outros elementos de projeto selecionados de forma favorável, resultam em um ambiente propício à segurança, que pode ser ainda aumentado por medidas complementares apresentadas na presente seção.

4.1. CRITÉRIOS DE PROJETO

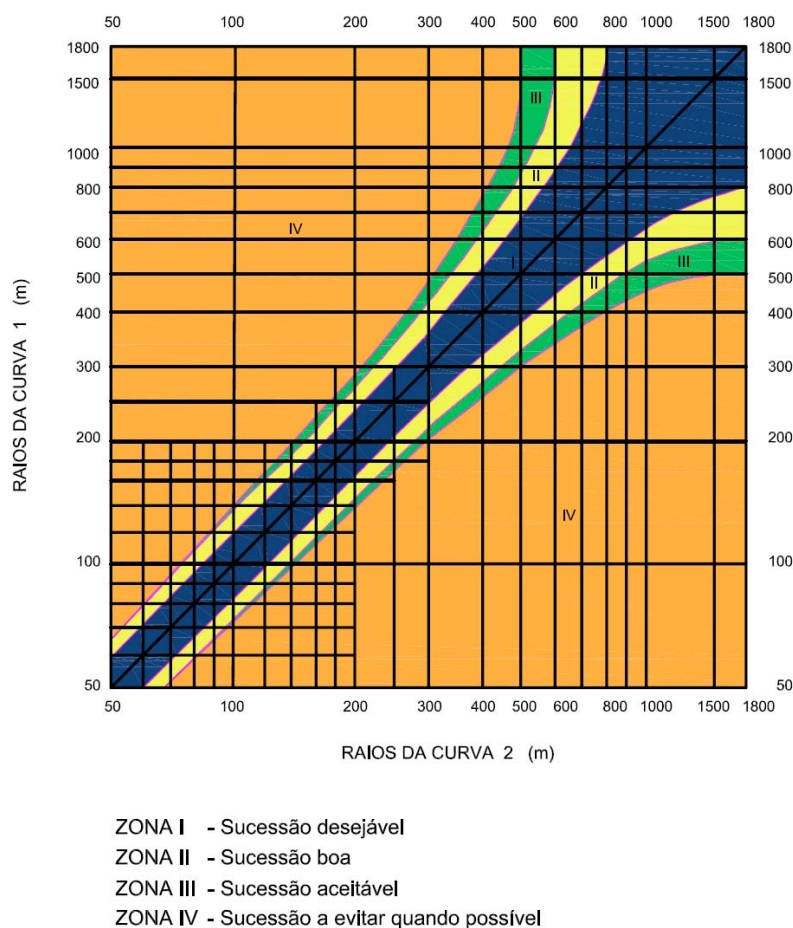
Os critérios de projeto de vias expressas são estabelecidos nas publicações do DNIT: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – 1999 e Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas – 2010 e se aplicam a construções novas e melhorias de rodovias existentes. Embora a Seção 2 apresente conceitos básicos de segurança para todos os tipos de via, a presente Seção trata particularmente da aplicação desses conceitos para o projeto e operação de vias expressas.

4.1.1. Velocidade de Projeto

A variação de velocidade ao longo de uma rodovia tem um impacto direto na segurança. Quanto maior e mais inesperada for a variação, maior a probabilidade de acidente. As vias expressas devem ser projetadas permitindo os motoristas dirigirem com velocidade aproximadamente constante, que atenda a suas necessidades e expectativas. Caso contrário, erros são prováveis. Como base de raciocínio, pode-se dizer que a diferença de velocidades até 10 km/h entre dois trechos sucessivos é ótima; entre 10 e 20 km/h é aceitável; acima de 20 km/h já não é recomendável. Esses valores se referem às velocidades, abaixo das quais 85% dos veículos trafegam. Para determinar a velocidade esperada V_{85}, quando não se dispuser de resultados de pesquisas efetuadas com esse objetivo, pode-se utilizar o método alemão constante da publicação *Richtlinien fur die Anlage von Strassen.RAS Teil: Linienfuhrung (RAS-L). Bonn*, 1995 ou de sua tradução Diretrizes para a Concepção de Estradas (DCE) - 2000, adotada pelo DER-SC.

Considerando que as velocidades variam com os raios das curvas horizontais, engenheiros alemães criaram um gráfico, que foi adaptado no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (Figura 2), em que as três zonas centrais identificam os valores dos raios de curvas sucessivas que correspondem a variações de velocidade adequadas.

Cabe observar que a publicação alemã citada, datada de 1995, contém uma atualização da Figura 2, permitindo maior tolerância nas variações dos raios das curvas que se sucedem.

Figura 2 – Escolha dos raios de curvas sucessivas

A velocidade de projeto para vias expressas deve situar-se nos intervalos de 80 a 120 km/h, em trechos rurais, e de 60 a 110 km/h, em travessias urbanas.

Em projetos novos, são definidos os valores a serem utilizados, atendendo aos limites impostos pelas condições topográficas e de faixa de domínio disponível. No caso de projetos de reconstrução, restauração e introdução de melhoramentos, a velocidade de projeto não deve ser menor que a velocidade original de projeto ou velocidade permitida no trecho.

Velocidades de projeto para os ramos das interconexões dependem do tipo de ramo de acesso e da velocidade do fluxo proveniente ou que se destina à rodovia que é interceptada. Normalmente essa velocidade é determinada pelo elemento do ramo de maiores restrições, usualmente a curva de menor raio. Qualquer que seja a velocidade, transição adequada entre a via expressa e o terminal de entrada ou de saída deve ser prevista.

4.1.2. Larguras de faixas de tráfego e de acostamentos

A operação eficiente e segura do tráfego depende da escolha adequada das larguras de faixas de tráfego e acostamentos, de acordo com as recomendações dos manuais de projeto geométrico citados. A necessidade de acomodar maior volume de tráfego dentro da faixa de domínio existente, ou passível de adquirir em travessias urbanas, tem levado os responsáveis a aumentar a capacidade da via existente, reduzindo as larguras das faixas e acostamentos e aumentando o número de faixas de tráfego. A adoção de seções transversais inferiores às padronizadas (largura de faixas de 3,50 m a 3,60 m) tem que ser analisada cuidadosamente, em cada caso. A experiência indica que faixas de trânsito de 3,30 m podem operar com segurança, se forem mantidas as demais características técnicas. Entretanto, se forem combinadas com reduções de largura de acostamentos, distância de visibilidade menor que a necessária e outros elementos inferiores aos fixados, as faixas de 3,30 m podem não manter o mesmo padrão de segurança. A transformação de acostamentos em faixas de tráfego, para obter maior capacidade em um pequeno trecho, tem resultado, em alguns casos, em redução significativa de acidentes relacionados a engarrafamentos. A remoção dos acostamentos em trechos de vários quilômetros, no entanto, não tem dado os mesmos resultados.

A experiência mostra que, onde um acostamento for transformado em faixa de tráfego, é preferível eliminar o acostamento esquerdo (interno). Os motoristas preferem parar no lado direito, bem como o pessoal encarregado da manutenção e fiscalização. Quando uma rodovia tem uma barreira em um canteiro central estreito, e se está cogitando transformar um acostamento, junto ao canteiro, em faixa de tráfego, eventual curva no local deve ser verificada quanto à distância de visibilidade de parada. Quando os dois acostamentos são removidos, medidas preventivas e moderadoras devem ser consideradas. Essas medidas incluem adequada sinalização de regulamentação e de advertência, construção de baias de emergência, iluminação contínua, restrição ao tráfego de caminhões, patrulhas de serviço permanentes e outras medidas de controle de incidentes, e monitoração e avaliação permanente, para garantir que problemas não previstos sejam identificados e rapidamente corrigidos.

Quando não puderem ser providos, acostamentos à direita, em uma extensão significativa de uma via expressa (cerca de 1,5 km ou mais), locais para baias de emergência, adequadamente espaçados, devem ser considerados, onde for possível. Quando acostamentos apropriados não forem disponíveis ou não puderem ser economicamente oferecidos durante um projeto de reconstrução, baias de emergência são também apropriadas para estruturas longas, como ilustrado na Figura 3. A baia deve ter comprimento e largura suficientes para acomodar grandes caminhões e desejavelmente dispor de dispositivos de segurança, como atenuadores de impacto, para absorver a energia cinética de um veículo desgovernado e impedir que motoristas que percam a direção se machuquem seriamente.

Figura 3 – Baia de emergência

4.1.3. Marcas no pavimento e tachões

Pintura no pavimento, como linhas de borda de faixas de tráfego, canalizadoras em interconexões e acessos, símbolos ou palavras, fornecem importante informação para o motorista. Marcas no pavimento definem faixas de tráfego em um mesmo sentido, informam aos motoristas restrições das faixas e transmitem certas advertências e regulamentações que, de outro modo, não seriam claramente compreendidas. Marcas no pavimento são particularmente importantes à noite e durante severas condições de tempo, devendo ser refletoras. Enquanto marcas pintadas em pavimentos bem conservados são aceitáveis, pinturas mais espessas, de vida longa, termoplásticas, podem ter melhor resultado durante mau tempo e tráfego pesado. Alguns estudos têm sido feitos quanto aos benefícios de linhas pintadas mais largas, com 15 ou 20 cm, ao invés das linhas padronizadas de 10 cm. As linhas mais largas podem ser de grande benefício, especialmente para motoristas mais idosos.

As marcações refletivas e salientes estão sendo usadas frequentemente como complemento às marcações pintadas. Tachões são especialmente úteis ao delinear as vias à noite e sob chuva intensa, pois tornam mais visíveis as pinturas normalmente utilizadas. São recomendadas para uso em vias expressas, sempre que não representem custo excessivo.

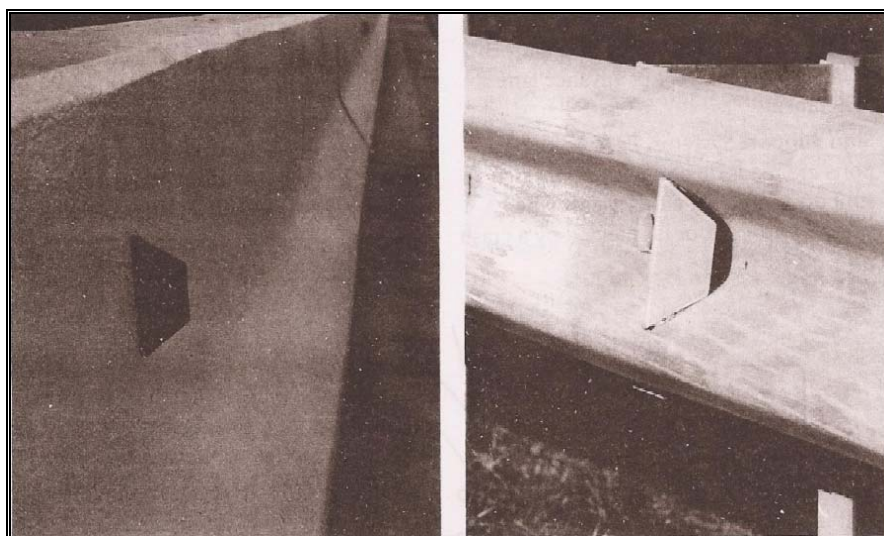
4.1.4. Delineadores e balizadores

Delineadores são placas posicionadas lateralmente à via, de forma a indicar precisamente a sua borda aos usuários, principalmente em situações envolvendo risco de acidentes. Devem ser aplicados nas curvas acentuadas, nas transições com diminuição de largura de pista, particularmente nas aproximações de obras-de-arte especiais e ainda em pontos localizados, onde o alinhamento pode ser considerado confuso.

Balizadores são dispositivos auxiliares, posicionados lateralmente à via, dotados de unidades refletoras, com o objetivo de propiciar ao condutor melhor percepção das mudanças no alinhamento horizontal. São particularmente importantes em trajetos noturnos, ou com má visibilidade causada por condições adversas de tempo.

Balizadores não devem ser usados para caracterizar situações envolvendo riscos de acidentes, obstáculos, ocorrência de postes laterais ou objetos fixos ou para restringir acesso. Devem ser usados, para esse fim, delineadores, marcadores de obstáculos e outros elementos caracterizados no Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT.

Em trechos com defensa ou barreira devem ser utilizadas películas refletivas (olhos de gato) fixadas lateralmente na própria defensa ou barreira, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Balizadores fixados em barreiras e defensas

4.1.5. Sinalização vertical

a) Mensagens

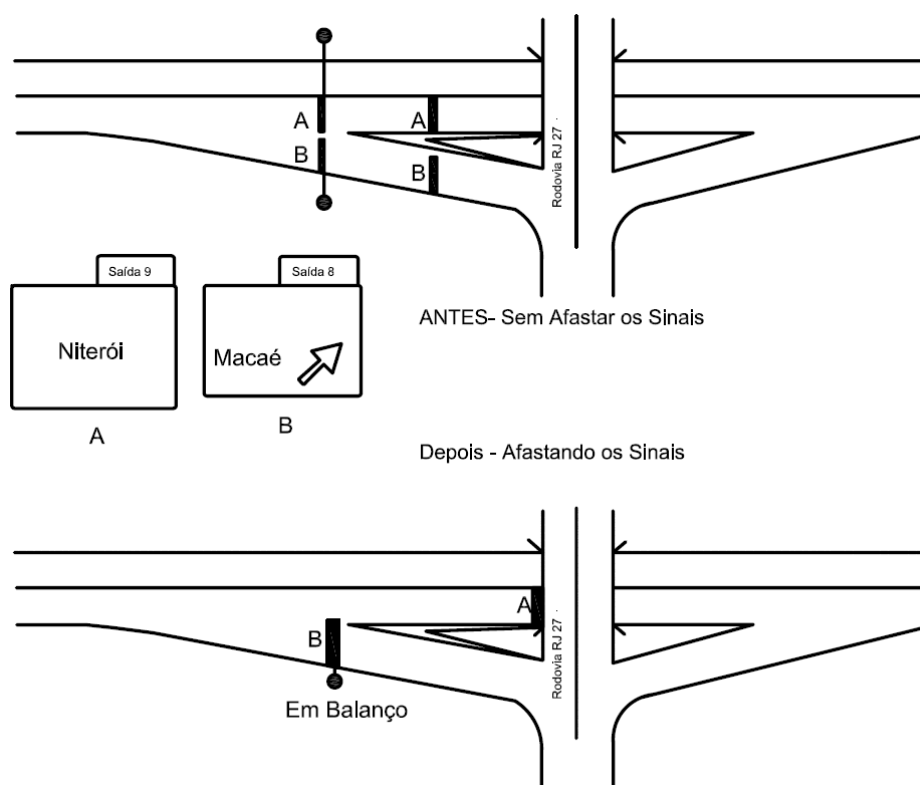
A sinalização das vias expressas deve ser planejada juntamente com o lançamento do projeto geométrico. Se deixada para depois de concluído o projeto, pode resultar em sinalização deficiente e problemas operacionais, principalmente nas interconexões.

Deve-se levar em conta que um mau projeto não pode ser corrigido com a sinalização. A sinalização deve ser consistente, bem visível, de significado claro e sem ambiguidades, de modo a orientar os motoristas que não estejam familiarizados com a rodovia.

Nas áreas rurais, deve ser evitada a tendência de sobrecarregar as interconexões com placas de sinalização. Nas proximidades das interconexões e acessos, não devem ser colocadas mensagens de

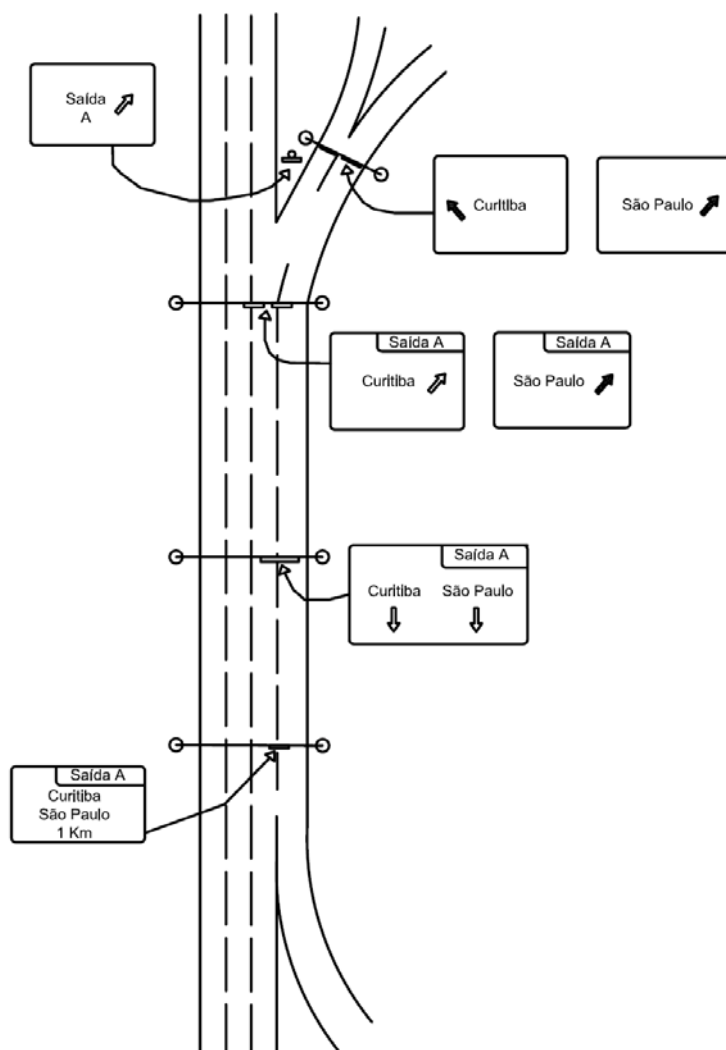
caráter geral. Os sinais devem ter a função de transmitir aos motoristas informações adequadas nos momentos em que são necessárias: cuidados a tomar por motivo de segurança, informações quanto aos destinos a seguir e faixas de tráfego a utilizar. O projetista deve esquematizar a sinalização por placas e marcas, levando em conta as distâncias de visibilidade necessárias, dimensões de faixas de mudança de velocidade, eventuais pontos perigosos etc.

Em trechos com interconexões relativamente próximas, deve-se tomar especial cuidado em dispersar informações, para evitar que se acumulem e sobrecarreguem os motoristas, em locais em que são necessárias tomadas de decisões. A Figura 5 mostra um exemplo de separação de informações acumuladas em um ponto. No caso de tráfego elevado, o uso de letras maiores pode ajudar a todos os motoristas, particularmente os idosos.

Figura 5 – Separação de informações

Quando interconexões são tão próximas, que os sinais de indicação não podem ser adequadamente espaçados, eles podem ser suplementados por sinais, indicando sequências de interconexões, que identifiquem duas ou três interconexões seguintes. Se o espaçamento for menor que 250 m, esses sinais devem substituir os sinais de indicação de cada interconexão.

Os sinais de indicação de saídas devem ser uniformes. Transferências entre vias expressas, saídas em tangente e interconexões com redução de faixas devem utilizar sinais específicos. Podem ocorrer problemas de transferências entre vias expressas, em que o ramo de saída tem mais de uma faixa e

nesse ramo há um segundo ponto de decisão. É comum não haver sinal prévio de indicação desse segundo ponto, por falta de espaço. Em consequência, o sinal colocado nesse ponto de saída é o primeiro que o motorista vê, indicando a faixa adequada para cada destino desejado. Um sinal de indicação prévia de faixa específica, para cada destino desejado, deve ser colocado bem antes do ponto de decisão. A Figura 6 exemplifica este caso.

Figura 6 – Sinalização prévia de saída

Informações suplementares podem ser obtidas nas publicações: Manual de Sinalização Rodoviária – DNIT – 2010, Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – CONTRAN – 2007, *Manual on Uniform Traffic Control Devices* – FHWA – 2009 ou edição mais corrente e *Guidelines for the Selection of Supplemental Guide Signs for Traffic Generators Adjacent to Freeways* – AASHTO – 1993.

b) Suporte de sinais

Devido ao fato de que os suportes de sinais são obstáculos laterais, um suporte seguro é o que cede, ao ser atingido por um veículo, ou é protegido por um atenuador de impacto ou uma barreira. Mesmo que um suporte seja projetado adequadamente para quebrar quando atingido, deve ser colocado onde houver menor probabilidade de sofrer colisão por um veículo desgovernado. Suportes que permitem grande deslocamento do sinal podem não se afastar com a rapidez necessária nos impactos laterais, e os que têm base flexível podem provocar instabilidade do veículo, após a batida. As áreas de recuperação não devem conter suportes de sinais de nenhum tipo, se locais menos vulneráveis puderem ser encontrados.

Em vias expressas, certos sinais devem ser localizados em posição elevada sobre a pista, onde possam ser vistos por todo o tráfego e ser usados eficientemente para indicar ao tráfego as faixas que devem utilizar. Pelo fato de que as estruturas de suporte desses sinais são de base fixa e indeslocáveis, eles devem ser colocados em locais protegidos, na maior extensão possível. Essa proteção pode ser feita, por exemplo, por defensas e barreiras. Não devem ser localizados em narizes ou outros locais passíveis de colisões.

Sinais laterais de grandes dimensões são usualmente suportados por dois ou mais postes metálicos. Se não forem protegidos adequadamente por atenuadores de impactos ou barreiras, devem ser projetados, de modo a serem facilmente derrubados, usando-se um dos sistemas correntes.

4.1.6. Iluminação

Em todas as rodovias, os acidentes noturnos apresentam duas ou três vezes mais casos fatais que os ocorridos durante o dia. A iluminação da rodovia, em locais adequados, pode ser uma forma economicamente viável de reduzir os acidentes noturnos.

Os volumes do tráfego noturno e o nível de complexidade da geometria em locais específicos têm grande influência quanto à viabilidade do uso da iluminação como forma de melhorar a segurança. Vias expressas urbanas com interconexões muito próximas e áreas adjacentes substancialmente desenvolvidas geralmente são iluminadas. As complexidades da geometria e do tráfego são de tal ordem que os motoristas necessitam identificar e reagir a condições situadas de 150 m a 350 m à sua frente. Além disso, não se pode confiar em que os faróis dos carros iluminem adequadamente toda a pista de uma rodovia muito larga.

Em face das interconexões mais complexas oferecerem a maior probabilidade de ocorrência de conflitos de tráfego, exigindo decisões rápidas, sua iluminação pode constituir uma medida essencial para a redução de acidentes. Pode-se optar por iluminar apenas pontos críticos para a segurança, por

exemplo, as áreas dos terminais de saída e de entrada. Entretanto, obtêm-se resultados melhores com a iluminação de toda a interconexão. A iluminação parcial é às vezes utilizada, por ser de menor custo. O uso da tecnologia de iluminação com mastros altos deve ser considerado, por fornecer ao motorista maior campo de visibilidade, possibilitando melhor orientação.

A habilidade do olho humano em ajustar sua sensibilidade visual é relativamente lenta, quando os motoristas se movem de áreas bem iluminadas para outras com pior iluminação. Quando ocorre tal situação, são necessários diversos segundos, para ajustamento do olho às novas condições, o que constitui um problema, principalmente para os idosos. O número dessas transições deve ser o menor possível. Em vias expressas urbanas, com várias interconexões a pequenos intervalos, deve-se prover iluminação contínua, para conseguir melhores condições de operação com a eliminação das transições.

Em vias expressas suburbanas sem iluminação, uma redução da sensibilidade visual pode resultar de luzes provenientes das áreas desenvolvidas laterais. Essa iluminação ambiental é prejudicial para o motorista, reduzindo sua atenção aos sinais da rodovia. Nos trechos que atravessam áreas vizinhas muito iluminadas, devem-se criar obstáculos que impeçam que essa iluminação atinja a rodovia, bem como iluminar adequadamente a rodovia.

Em áreas rurais, a iluminação, em alguns casos é justificada em interconexões, principalmente naquelas com geometria mais complexa e com muitos pontos de convergência de tráfego. A disponibilidade de energia e os custos de manutenção são fatores importantes que influenciam no sistema de iluminação a ser adotado. Orientação para justificar e projetar todos os tipos de sistemas de iluminação pode ser encontrada nas publicações *An Informational Guide for Roadway Lighting* – AASHTO – 1984 e *American National Standard Practice for Roadway Lighting* – ANSI/IES – 1983.

4.1.7. Monitoramento do tráfego

As vias expressas são projetadas para transportar com segurança grandes volumes de veículos em altas velocidades. Deixam de operar eficientemente, quando a demanda de tráfego excede à capacidade. Uma via expressa com oito faixas de tráfego, operando no nível de serviço F, atende aproximadamente ao mesmo número de veículos que uma via expressa com seis faixas, operando dentro da capacidade. Uma via expressa com a faixa esquerda bloqueada por um acidente perde 50 % de sua capacidade, no sentido em que a via foi bloqueada, e 25 % no sentido oposto. Quando há congestionamento, aumenta o número de acidentes e a possibilidade de acidentes mais graves cresce, quando o tráfego com alta velocidade se aproxima do tráfego com baixa velocidade.

Estratégias são adotadas para ajudar a manter a eficiência da operação e a segurança de uma via expressa, reduzindo a ocorrência e duração dos congestionamentos. As mais adequadas a esses objetivos compreendem: supervisão e controle, informações aos motoristas e monitoração dos incidentes.

a) Supervisão e controle

A forma de controle mais comum nas vias expressas dos Estados Unidos é o acesso controlado. Sinais luminosos nos ramos de entrada permitem o acesso de veículos em quantidades reguladas, de modo a impedir formação, em um determinado tempo, de filas oriundas de interseções semaforizadas próximas. O fluxo principal da via expressa, mesmo operando próximo da capacidade, pode acomodar um ou dois veículos a intervalos de tempo ajustados. Por outro lado, quando grupos de veículos tentam forçar a entrada, criam turbulência, que pode fazer com que o tráfego entre em colapso. A redução da turbulência nas zonas de acesso reduz o número de acidentes de colisões traseiras e laterais, associadas ao fluxo com paradas e partidas sucessivas. Reduções de 20 a 50 % no número de acidentes nos locais de incorporação de tráfego têm ocorrido depois de instalado o sistema de acesso controlado. O projeto adequado dos ramos de acesso, sinalização de advertência e outras medidas têm-se revelado eficazes na redução de acidentes causados por retenções de veículos.

As técnicas de controle das vias expressas incluem também a indicação dos destinos das diferentes faixas, limites de velocidade variáveis e acesso controlado na via principal. São projetadas para fornecer avisos antecipados e reduzir diferenças de velocidades, diminuindo os conflitos em alta velocidade que resultam em acidentes. Nos Estados Unidos, o uso dessas técnicas tem sido limitado, mas, na Europa, onde prevalecem, os resultados têm sido positivos. A eficiência das estratégias de controle depende da quantidade e qualidade dos dados de supervisão. Com o tempo, novas tecnologias tornarão as estratégias de controle das vias expressas ainda mais efetivas, com sistemas de supervisão mais confiáveis, melhores algoritmos de controle e outras estratégias avançadas de monitoração.

b) Informações aos motoristas

Sistemas de informações aos motoristas são projetados para informar aos que já estão na rodovia, ou que planejam entrar na mesma, das suas condições, do seu tráfego e do ambiente como um todo. As técnicas hoje utilizadas para comunicação são a sinalização de placas e marcas da rodovia, avisos por rádio e painéis de mensagens variáveis com dispositivos em tecnologia LED (*Ligth Emitting Diod*). Para adquirir a confiança e respeito dos motoristas e operar de forma satisfatória, as informações transmitidas devem ser oportunas e de boa qualidade. A credibilidade é de importância capital.

c) Monitoração dos incidentes

Incidentes são os eventos aleatórios, tais como acidentes, veículos parados ou elementos estranhos na rodovia, causando redução de sua capacidade. Quando o volume de veículos que se aproxima da cena do incidente excede a capacidade, tem-se congestionamento do tráfego. O impacto dos incidentes é muito maior que o atraso que provocam. Incidentes resultam em acidentes, quando carros em altas velocidades se aproximam de uma fila de veículos parados ou movendo-se vagarosamente. Os ocupantes de veículos parados ou acidentados estão muito preocupados e desatentos ao tráfego que passa. A polícia, os carros reboque e outros elementos convocados pelos incidentes são expostos ao tráfego. Os veículos parados ou estacionados nos acostamentos tornam-se um problema, principalmente à noite.

A monitoração de um incidente consiste na coordenação das medidas necessárias para identificá-lo, analisar sua natureza, resolver os problemas criados, eliminar seus vestígios e monitorar o tráfego até sua volta à normalidade. Um programa de monitoração de incidentes deve incluir a criação de um centro de operações para coordenação de suas atividades.

Certos princípios devem ser atendidos, especialmente os seguintes:

- Todos os meios de captação rápida de informações devem ser utilizados, por exemplo: telefone celular, rádio;
- Deve ser treinado pessoal para obter informação acurada relativa a um incidente: local, natureza, dimensões etc.

Os setores responsáveis pela solução dos incidentes devem ser prontamente informados.

Os elementos privados: pessoas ou empresas normalmente chamadas para participar do processo devem ser devidamente treinadas, e os serviços que prestam adequadamente monitorados.

Depois do atendimento de eventuais acidentados, a prioridade a atender é a volta do tráfego à normalidade. Outros serviços previstos não devem ser permitidos, enquanto as faixas de tráfego não estiverem livres e em funcionamento.

Medidas de controle do tráfego devem ser imediatamente tomadas para garantir a segurança do local, até que pessoas e veículos sejam afastados.

As atividades devem ser coordenadas com os setores responsáveis pela solução dos incidentes, de modo a garantir nível adequado de prioridade à redução do impacto no tráfego.

As funções da monitoração dos incidentes devem ser integradas ao treino da polícia, bombeiros, equipes de manutenção e pessoal privado envolvido no processo.

Problemas entre as instituições envolvidas no processo devem ser objeto de solução prévia e geral, de modo a garantir o fluxo sem obstáculos das providências e tarefas necessárias.

4.2. ASPECTOS ESPECIAIS

4.2.1. Faixas exclusivas

Faixas exclusivas são aquelas que, pelo menos em parte do dia, somente podem ser trafegadas por veículos contendo um número mínimo especificado de pessoas ou, em alguns casos, veículos específicos próprios para o transporte de muitas pessoas, como ônibus e vans, por exemplo. Esse tipo de regulamentação pretende encorajar os usuários a utilizar veículos com altos índices de ocupação, ao invés de transporte individual. Há vários tipos de regulamentação com esse objetivo:

- Faixa(s) exclusiva(s) em uma via própria;
- Faixa(s) exclusiva(s) dentro da faixa de domínio de uma via expressa, usualmente dentro do canteiro central e separada do tráfego geral por uma barreira rígida;
- Uma faixa concorrente da adjacente (geralmente à esquerda) separada do tráfego geral por uma faixa pintada ou canteiro estreito de 0,60 a 1,20 m;
- Faixa de contrafluxo (geralmente a faixa esquerda, no sentido do pico);
- Ramos de acesso de uso exclusivo.

Os índices de acidentes nas faixas de uso exclusivo são muito baixos. Os índices das faixas de contrafluxo são também muito baixos, mesmo quando a separação da faixa é feita apenas com cones ou defensas de plástico. Os índices nas faixas do tipo concorrente são de difícil avaliação, porque, sem uma barreira, não se pode identificar com segurança que acidentes são relacionados diretamente à faixa reservada. A utilização da separação por canteiro estreito aparentemente reduz o potencial de acidentes e é recomendada.

Quando uma via expressa é alargada, frequentemente é necessário remanejar a posição da faixa exclusiva dentro da faixa de domínio existente. Mesmo quando faixas exclusivas são construídas em novas vias expressas, a viabilidade da construção de seis a dez faixas em áreas urbanas densamente desenvolvidas tem levado a alguma tolerância na atenção às características técnicas básicas. É aconselhável que essa tolerância seja exercida com muita prudência. Aconselha-se atenção à publicação da AASHTO: *Guide for the Design of High Occupancy Vehicle Facilities* – 1992.

4.2.2. Áreas para descanso

Áreas para descanso, espaçadas de 65 a 80 km, constituem um elemento de segurança necessário em vias expressas rurais. Essas áreas se destinam a dar oportunidade aos motoristas para curtos períodos de descanso. O dimensionamento do estacionamento e da área total depende dos volumes de tráfego, sua composição e características da região. Áreas adicionais próximas à via existente podem ser consideradas para reduzir o número de caminhões estacionados nos acostamentos e ramos de acesso, em certos períodos do dia. Como alternativa, podem ser construídas áreas de descanso para caminhões, adjacentes e com acesso a postos de pesagem, permitindo aos motoristas que saíram da corrente de tráfego combinar essa parada com um período de descanso.

4.2.3. Praças de pedágio

Boa sinalização prévia e adequada iluminação têm-se revelado eficientes no aumento da segurança dos postos situados na via principal e nos ramos de acesso às praças de pedágio. Sinais, preferivelmente iluminados e suportados por estruturas acima da via, devem ser colocados 3 km antes da praça de pedágio. Os sinais devem indicar claramente quaisquer restrições de uso das faixas (tipos e condições de veículos permitidos ou proibidos). Essas informações devem ser repetidas a 0,8 km e 0,4 km antes da praça de pedágio, para dar aos motoristas tempo suficiente para fazer eventuais mudanças de faixa necessárias. Limites de velocidade devem constar dessa sinalização, para garantir a chegada na praça com velocidade segura.

Sonorizadores e faixas pintadas transversais na aproximação da praça de pedágio são reforços de segurança que devem ser cogitados. Os sonorizadores são um meio simples e de baixo custo para alertar os motoristas para mudanças de condições. Motoristas que vêm trafegando a longos períodos de tempo, sem paradas, devem ser avisados de que manobras inesperadas podem ocorrer.

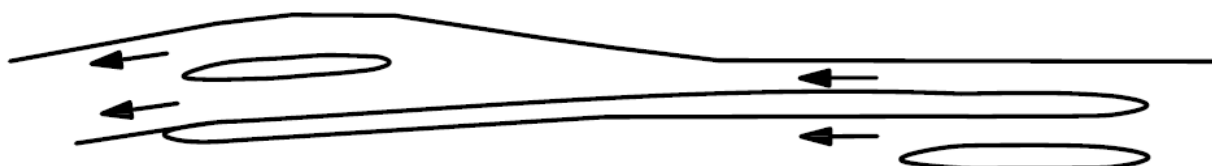
Tem-se estudado, cada vez mais, a necessidade de aumentar a segurança dos cobradores de pedágio. Atenuadores de impactos têm sido usados para proteger individualmente os cobradores e motoristas. Deve ser analisada a necessidade de sua inclusão nas praças já existentes.

Tem-se adotado, em algumas praças, a cobrança em sentido único, reduzindo praticamente à metade o custo e os prováveis acidentes por impacto. Essa medida normalmente é aplicada em trechos curtos, com uma única praça de pedágio.

Um aperfeiçoamento significativo é a introdução de faixas complementares de pedágio, ao invés de proceder ao alargamento das praças existentes, para atender a um grande aumento de tráfego. Uma faixa extra é acrescentada ao conjunto das faixas atendidas pelas cabines existentes. Essa faixa se desdobra então em duas ou três faixas, providas de suas cabines coletoras 100 a 150 m depois das

existentes. A construção da faixa extra e seus desdobramentos podem ser feitos sem interromper o fluxo normal da rodovia. A construção de um alargamento da própria praça pode confundir os motoristas, o que é perigoso. Com o uso de barreiras de concreto portáteis e estruturas pré-fabricadas, as faixas complementares se mostram um meio flexível e seguro de acomodar os crescentes volumes de tráfego. A Figura 7 ilustra esse conceito.

Sistemas permanentes de identificação automática de veículos, em faixas de tráfego especiais (AVI), permitem que a cobrança do pedágio seja feita por outros meios (cobranças mensais, venda de cartões etc.), sem parar os veículos. O uso desses sistemas é de grande utilidade, até mesmo na ajuda da demonstração de gastos para os usuários. Não dispensam, entretanto, a sinalização especial na aproximação das praças.

Figura 7 – Desdobramento de faixas nas praças de pedágio

4.2.4. Locais para investigação de acidentes

Mesmo um acidente de menor importância em uma via expressa pode causar sério distúrbio no fluxo de tráfego, resultando em demoras, conflitos entre veículos e mesmo outros acidentes. Como medida de segurança, locais de parada para emergências e para investigação de acidentes, podem ser usados para estacionamento provisório de carros danificados, reparos, exame de documentos e trocas de informações entre as autoridades e os envolvidos no acidente e eventuais testemunhas. Embora fosse preferível preparar esses locais fora da vista da via expressa, tais como vias laterais ou ruas transversais ou locais de estacionamento, a experiência mostra que esses locais são pouco usados, especialmente se não se situam junto a um ramo de saída. Desta forma, um ramo de saída parece ser o local preferido, utilizando o acostamento direito ou qualquer área de dimensões adequadas, como a parte central de um laço (*loop*) ou canteiro separador.

Desejavelmente esses locais devem acomodar cinco veículos: dois carros danificados, dois caminhões e um carro de polícia. Cada local, no entanto, deve atender às limitações da faixa de domínio, da drenagem e de elementos estruturais. Devem ser também adequadamente sinalizados e caracterizados por pintura. A Figura 8 mostra um exemplo localizado em um ramo de saída.

Figura 8 – Local para investigação de acidentes

4.2.5. Veículos parados em acostamentos

Acidentes envolvendo veículos parados ou abandonados em acostamentos de vias expressas constituem um problema sério e crescente. Veículos entrando e saindo de faixas de tráfego ou estacionados ao lado da via, principalmente caminhões, são envolvidos em cerca de 10% dos acidentes.

A remoção de veículos dos acostamentos depende das leis e instituições responsáveis pela administração e segurança das vias. Aos planejadores e projetistas cabe a seleção e inclusão nos projetos da indicação dos locais mais adequados aos caminhões para estacionamento à noite.

4.2.6. Caminhões

No caso de projeto e de operação de vias expressas, há diversas considerações a serem feitas relativamente a caminhões, no que se refere a faixas de subida, ramos de saída em emergências, postos de pesagem e faixas com restrições específicas.

a) Faixas de subida

Não devem ser previstas faixas de subida para caminhões em vias expressas de mais de duas faixas, a não ser que nos trechos em subida seja atingido o nível D. Na maioria dos casos, quando o volume de tráfego, incluindo caminhões, é superior a 1.700 veículos por hora e o comprimento do trecho em aclive e a percentagem de caminhões são suficientes para considerar o uso de faixas de subida, o volume, em termos de carros de passeio, deve aproximar-se, ou mesmo exceder, a capacidade. Um aumento do número de faixas em toda a seção representaria um melhor investimento que a adoção de faixas de subida. Uma faixa de subida geralmente não é justificada para rodovias de quatro faixas de

tráfego, para um volume horário por sentido inferior a 1.000 veículos por hora, independentemente da percentagem de caminhões. Embora ocasionalmente um caminhão ultrapasse outro nessas condições, os problemas que podem surgir com esses baixos volumes não são suficientes para compensar o custo de uma faixa adicional.

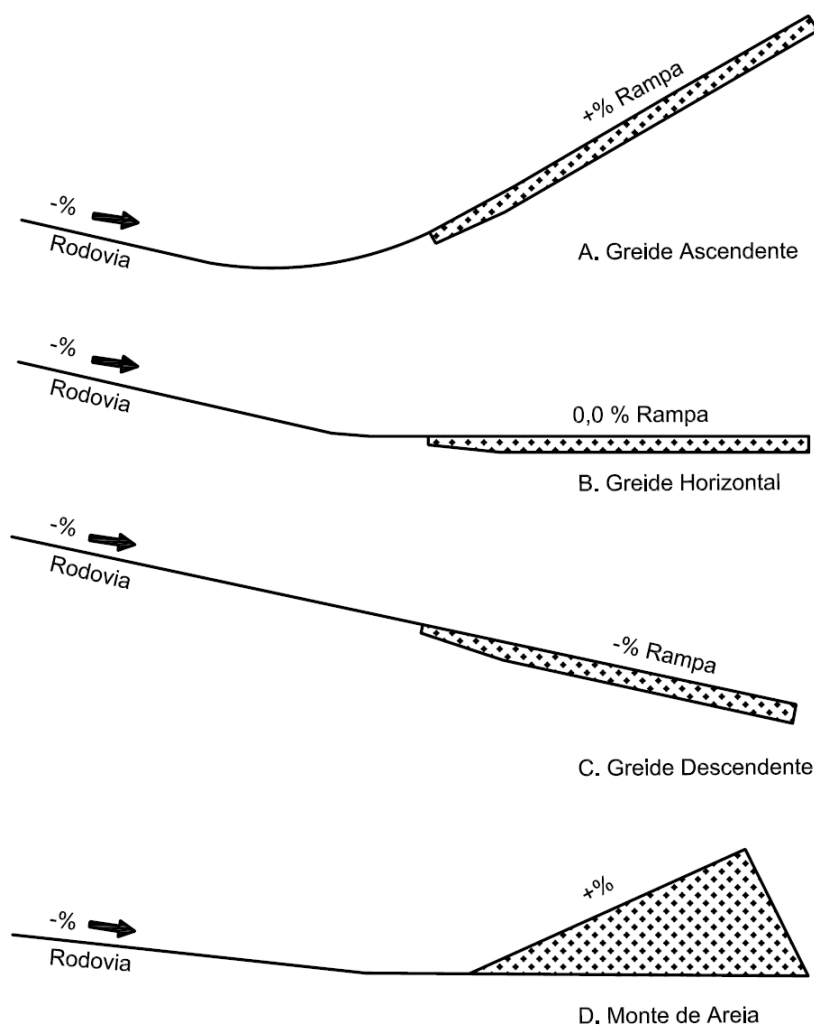
b) Ramos de saída em emergências

Extensos trechos em declives com rampas fortes podem levar à perda de controle, especialmente para grandes caminhões. Um estudo compreendendo 497 acidentes graves com caminhões em rodovias norte-americanas revelou que 16 % dos mesmos resultaram de perda de controle em descidas fortes. Embora a causa imediata possa ser atribuída a excesso de aquecimento dos freios, a falha mecânica ou erro do motorista, ramos de emergência para saída são, algumas vezes, a única medida prática a tomar. Na determinação da necessidade desses ramos, os seguintes fatores devem ser considerados: volume total de tráfego, volume de caminhões (especialmente a participação de grandes CVC), alinhamento horizontal, velocidade, histórico do trecho em termos de acidentes e o grau de desenvolvimento das áreas laterais na região mais baixa do trecho.

Os tipos de ramos de emergência usuais são monte de areia e leitos de arraste classificados de acordo com seu greide: ascendente, horizontal e descendente. Esses quatro tipos são ilustrados na Figura 9.

Cada um dos tipos é aplicável a uma situação particular, onde uma saída de emergência é necessária e deve ser compatível com a topografia e condições locais. O comprimento necessário para reduzir a velocidade do veículo e parar com segurança é função da resistência ao rolamento do material da superfície usado, da velocidade de entrada no leito e do seu greide. O tipo mais comumente usado é o de greide ascendente, que tem como vantagem o menor comprimento necessário.

Os revestimentos mais utilizados são areia e pedregulhos soltos. O material de maior eficiência para esses leitos normalmente é o pedregulho liso e arredondado, com cerca de 12 mm de diâmetro. Manutenção adequada é necessária para manter o material solto e não compactado.

Figura 9 – Tipos de ramos de emergência

Embora ainda não adotada nas rodovias brasileiras, estudos comprovam que a instalação desses ramos reduz a gravidade de acidentes. Como orientação para projeto, podem ser consultadas as publicações: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* – AASHTO – 2004, *Truck Escape Ramps* – TRB – 1992, *Grade Severity Rating System Users Manual* – FHWA – 1989 e *Truck Escape Ramps, Recommended Practice* – ITE – 1989.

Em complemento aos ramos de emergência para saída, sinais indicando velocidades a serem utilizadas por veículos pesados têm resultado em diminuições substanciais das velocidades. Esses sinais, que devem ser colocados antes e ao longo de descidas fortes, relacionam velocidades recomendadas para diversos tipos de caminhões, como indicado na Figura 10. Velocidades adequadas podem ser determinadas, utilizando a publicação do FHWA, *Grade Severity Rating System – User´s Manual*, 1989.

Figura 10 - Sinalização de velocidade conforme peso do caminhão

Caminhões com
5 eixos ou mais

PBTC t	Velocidade Max km/h
42 -50	50
50 -63	40
63 -74	20

c) Postos de pesagem

Postos de pesagem devem ser projetados para acomodar com segurança caminhões de grandes dimensões. Uma faixa de desaceleração de comprimento adequado deve ser incluída, para que o veículo que sai da rodovia atinja uma velocidade controlada, que pode chegar a 60 km/h. Uma faixa de armazenagem para caminhões, aguardando atendimento por balanças estáticas ou dinâmicas, deve ser suficientemente longa para assegurar que os caminhões não se acumulem na faixa de desaceleração, provocando reduções de velocidade nas faixas de tráfego direto. Desejavelmente, deve-se dispor de áreas para estacionamento de caminhões com problemas e áreas separadas, para transportadores de produtos perigosos.

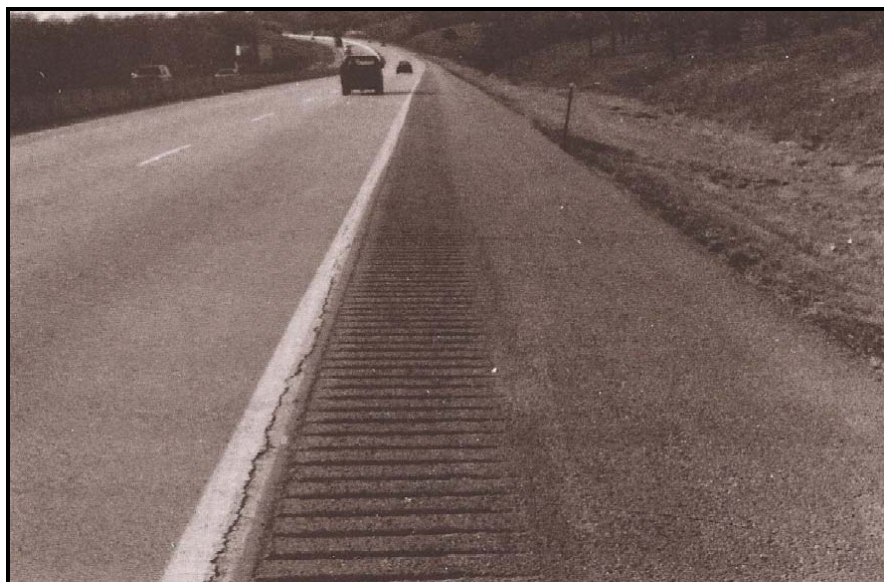
d) Faixas com restrições específicas

Podem ser feitas restrições quanto ao uso das faixas de trânsito em que se permite o tráfego de caminhões. De preferência, os caminhões devem utilizar a faixa da direita, com o objetivo de melhorar a operação da via e reduzir acidentes. Não se dispõe, entretanto, de documentação que demonstre os benefícios e custos dessa recomendação, embora predomine o entendimento de que é vantajosa.

4.2.7. Sonorizadores em acostamentos

Uma técnica utilizada com o objetivo de aumentar a segurança é o uso de sonorizadores em acostamentos pavimentados. Diversos tipos atualmente em uso criam uma vibração suave e um aviso sonoro adequado, para alertar os motoristas, quando saem da faixa de tráfego e entram no acostamento. Os tipos recomendados são pequenas depressões aplicadas continuamente ao longo da borda do acostamento, junto à pista de rolamento. Esse tipo de tratamento pode ser particularmente eficiente em trechos longos e monótonos de rodovias, onde os motoristas podem ficar sonolentos. Diversos estudos mostram que sua aplicação reduz os acidentes causados por veículos saindo da rodovia.

Vários tipos de projeto podem ser usados. Um dos tipos mais comumente adotados pode ser visto na Figura 11. Se ciclistas devem ser atendidos, pode-se acomodá-los alargando o acostamento, para comportar uma faixa sem os sonorizadores. Também se costuma adotar sonorizadores para evitar que se use o acostamento como faixa de tráfego.

Figura 11 – Sonorizadores em acostamentos

4.2.8. Telas antiofuscantes

O ofuscamento provocado pelos faróis de veículos que vêm em sentido contrário, além de extremamente desagradáveis para os motoristas, pode, em certas situações, provocar perda momentânea da visão. Formas eficientes de reduzir o ofuscamento provocado pelos faróis são: alargar o canteiro central ou implantar no topo de barreiras telas antiofuscantes. A Figura 12 apresenta um exemplo de solução.

Essas telas podem ser usadas para reduzir o ofuscamento causado por faróis ou impedir a visão pelos motoristas de situações que possam desviar sua atenção ao tráfego, como construção em andamento ou acidentes. Em vias expressas, podem ser justificadas em trechos curvos com canteiros estreitos e quando a superelevação ou o greide faz com que os faróis apontem diretamente para os motoristas dos veículos opostos. Outras razões para uso dessas telas são: acidentes, grande volume de tráfego noturno, queixas dos usuários ou condições da geometria da via provocando ofuscamento. Razões adicionais incluem a redução da possibilidade de confusão das condições do tráfego, como no caso de ramos de interconexões paralelos, acomodando tráfego de sentidos opostos. Esses dispositivos podem, entretanto, limitar a distância de visibilidade a valores menores que a distância de visibilidade de parada. Telas que requeiram pouca manutenção são preferíveis, por reduzirem os riscos que corre o pessoal de manutenção em seus reparos.

Em situações onde a largura e condições de visibilidade do canteiro central não permitem uma boa área de recuperação e não contêm barreiras, a proteção antiofuscante pode ser conseguida com vegetação adequada, compatível com o paisagismo do local. Parâmetros desejáveis para o projeto das telas antiofuscantes são encontrados na publicação *Glare Screen Guidelines – Syntheses of Highway Practices* – TRB – 1979.

Figura 12 – Telas antiofuscantes

4.2.9. Travessias do canteiro central

As travessias dos canteiros centrais nas vias expressas, feitas para uso exclusivo da fiscalização, constituem locais de grande potencialidade de acidentes, quando utilizadas pelos usuários da rodovia, uma vez que se torna bastante difícil limitar a sua utilização apenas para fins oficiais. A existência dessas travessias deve ser mantida num mínimo compatível com as necessidades da fiscalização e as operações de combate aos incêndios e emergências. Todos os esforços devem ser envidados para impedir que os usuários utilizem essas travessias, inclusive através do emprego de revestimento de qualidade inferior e, até mesmo, de cancelas.

Travessias não são adequadas para vias expressas em áreas urbanas. Quando eventualmente permitidas em áreas rurais, devem ser projetadas, operadas e conservadas, de modo a disporem das melhores condições de segurança possíveis. Algumas medidas orientadoras são:

- As aberturas do canteiro central devem ser localizadas em trechos em tangente com distâncias de visibilidade adequadas, em ambos os sentidos, e acostamentos suficientes, para permitir que um veículo reduza sua velocidade e termine seu giro fora da pista de rolamento;

- A localização de uma travessia logo após uma ponte ou viaduto deve ser evitada se o canteiro central for estreito ou contiver uma barreira. É mais seguro localizar a abertura em local mais

afastado, onde houver uma área plana livre e distâncias de visibilidade, para tomada de decisão em ambos os sentidos;

- Travessias que são necessárias, em uma seção com canteiro central estreito, em que uma barreira separa as pistas de rolamento, devem ser projetadas, de modo a reduzir a possibilidade de que um veículo desgovernado colida com o término da barreira. Os extremos de barreiras podem incluir atenuadores de impactos ou serem deslocados do tráfego oposto, para reduzir a probabilidade de serem atingidos por veículos desgovernados;
- Travessias que requerem aterros devem ser projetadas com taludes laterais de 1:6 (V:H) ou mais brandos, preferivelmente com declividade de 1:10 (V:H).

O número de aberturas do canteiro central deve ser reduzido ao mínimo necessário para atender à travessia de equipamento de emergência, de modo a minimizar seu uso pelo público em geral. A proibição do uso não autorizado da travessia deve ser devidamente sinalizada, mas não tão afastada, que alerte o motorista de sua existência. Travessias que se tornarem desnecessárias devem ser fechadas, com a reconstrução do canteiro central. A colocação de vegetação adequada na abertura pode desencorajar seu uso. A prática de colocar pedras ou montes de terra nas aberturas não tem efeito seguro, por não impedirem os motoristas obstinados de procurar um lugar de travessia no meio dos obstáculos. Além disso, não se deve encorajar a prática de colocar objetos fixos e obstáculos às margens de pistas de rolamento.

4.3. OBRAS-DE-ARTE ESPECIAIS

Encontros, pilares, guarda-corpos e estruturas com acostamentos inferiores aos da rodovia podem criar perigo para os motoristas. O projeto de passagens superiores deve considerar a segurança, tanto acima como abaixo da estrutura. De importância fundamental são as distâncias livres da borda do acostamento até a barreira rígida ou guarda-corpo.

4.3.1. Pilares e encontros

Pilares e encontros de uma estrutura são, por sua natureza, objetos fixos de grande resistência. Quando um veículo desgovernado atinge um deles, o acidente é geralmente muito grave. Os pilares e encontros devem ser mantidos tão afastados quanto possível da pista de rolamento. Estruturas com apenas dois vãos e apoios no centro do canteiro central, sem pilares próximos das bordas dos acostamentos, são preferidas. A eliminação dos pilares à direita ou no acostamento exclui a possibilidade de riscos, eliminando também a necessidade de defensas. Em vias expressas com canteiros centrais estreitos, são desejáveis estruturas de um único vão.

Estruturas mais longas sobre vias expressas possibilitam afastar os pilares das bordas dos acostamentos o suficiente para reduzir o risco de acidentes. Em geral, do ponto de vista da segurança, é desejável que pilares do canteiro central ou lateral fiquem fora de zonas laterais de livre transposição. Isso é especialmente importante em estruturas sobre curvas horizontais com grande volume de caminhões pesados. As forças centrífugas que atuam sobre um caminhão que entra em contacto com uma barreira curva podem fazer com que o caminhão se incline sobre a barreira ou mesmo tombe sobre ela. Nessa situação o acidente tende a ser grave, podendo ser acompanhado de incêndio e danos para a estrutura. Por essa razão, pilares do lado externo das curvas devem ser localizados longe das faixas de tráfego ou devem ser bem protegidos. No caso de estruturas com vãos fixos, pode ser conveniente alterar a posição de uma rodovia ou da nova estrutura, para obter o maior afastamento possível do lado externo da curva, reduzindo a distância do lado interno. A defensa na Figura 13 é excessivamente próxima do pilar e muito curta para que possa proteger o motorista, no caso de um acidente.

Quando não for possível posicionar os pilares laterais fora de zonas livres de recuperação, um sistema de barreira adequado deve ser usado. As características de deflexão das barreiras podem servir de base para a escolha da mais conveniente em cada caso.

Quando os pilares são situados a mais de 1,70 m das bordas dos acostamentos, um sistema semi-rígido de defensa pode ser usado para proteção. Quando se dispuser de afastamento menor, é preferível fortalecer o sistema semi-rígido, para reduzir sua deflexão dinâmica. No caso de se usar barreira de concreto, a sua base deve ficar, pelo menos, a 0,50 m da borda do acostamento.

A proteção de pilares existentes situados a menos de 0,50 m da borda do acostamento deve atender às condições do local e do tráfego. Soluções possíveis são:

- Reconstrução da estrutura, para incluir uma barreira mais alta (de preferência 1,30 m), que melhor proteja os pilares de eventual choque com parte de um caminhão desgovernado (ou de sua carga) que se incline sobre a barreira, ao atingí-la;
- Redução da largura do acostamento, afastando a barreira do pilar.

Os taludes dos encontros podem também criar situações perigosas. O caso mais comum ocorre quando se utiliza uma defensa de comprimento insuficiente para impedir que um veículo desgovernado atinja o talude do encontro (Figura 13). Um veículo que atingir o talude pode ser lançado sobre o lado interno da defensa, sobre um pilar ou alguma estrutura de drenagem, ou mesmo capotar.

Figura 13 – Defensa inadequada

4.3.2. Guarda-corpos

Guarda-corpos devem ter condições estruturais e estéticas adequadas. Devem ser projetados, de modo a causar o mínimo de danos aos passageiros e veículos que eventualmente os atinjam, e reconduzir o veículo no sentido do fluxo de tráfego, paralelamente ao mesmo. O ideal é que os motoristas sejam bem orientados pelos guarda-corpos, mesmo que seja necessário que iniciem e terminem fora da estrutura. A experiência mostra que são muito graves os acidentes provocados pelos extremos de pontes e viadutos.

No processo de manutenção e restauração de pontes e viadutos, deve-se, como rotina, verificar as condições dos guarda-corpos das estruturas existentes, de modo a identificar se atendem às condições de segurança e identificar as alterações a serem introduzidas.

4.3.3. Seções transversais

Os acostamentos das pontes e viadutos devem ter a mesma largura que os da rodovia. Elementos verticais, como guarda-corpos, devem ser localizados a uma distância mínima de 0,50 m da borda externa do acostamento, para garantir a livre entrada e saída de veículos com segurança.

Pontes e viadutos com acostamentos de largura insuficiente devem ser considerados, para efeito de reconstrução. Restrições orçamentárias podem, entretanto, inviabilizar a correção de obras de grande extensão. Nesse caso, deve-se pelo menos criar baias de emergência em estruturas longas, sobretudo no caso em que um veículo, executando uma parada de emergência, possa bloquear 1,20 m da faixa de tráfego, direto. No caso de grandes volumes de tráfego, as baias podem ser necessárias para bloqueios menores, que excedam 0,30 m.

4.3.4. Estruturas estreitas

A pista de rolamento da estrutura é medida entre as linhas definidoras dos inícios das sarjetas ou largura usável pelos veículos. Se essa largura for inferior à da via, trata-se de uma estrutura estreita. Vias expressas não devem conter estruturas estreitas, por oferecerem alto grau de periculosidade. Excepcionalmente, caso haja restrições físicas ou econômicas que impedem a obtenção da largura adequada, deve-se dar atenção especial ao projeto de transição entre a rodovia e a estrutura, nos seus dois extremos. As aproximações dos guarda-corpos devem atender à segurança exigida por possibilidade de colisão e a transição de largura deve ser adequadamente sinalizada e incluídas marcas no pavimento.

4.3.5. Estruturas paralelas

Em vias expressas divididas, as pontes e viadutos paralelos constituem um problema especial, porque um veículo desgovernado pode passar entre as estruturas e cair em um rio, via férrea ou outra via localizada numa passagem inferior. Quando for economicamente viável, é recomendável fechar a abertura entre as estruturas paralelas. Não sendo possível adotar um tabuleiro contínuo, como no caso de grandes vãos, torna-se essencial o emprego de defensas e barreiras para parar ou redirecionar os veículos, de forma segura.

4.4. CANTEIROS CENTRAIS E ÁREAS LATERAIS

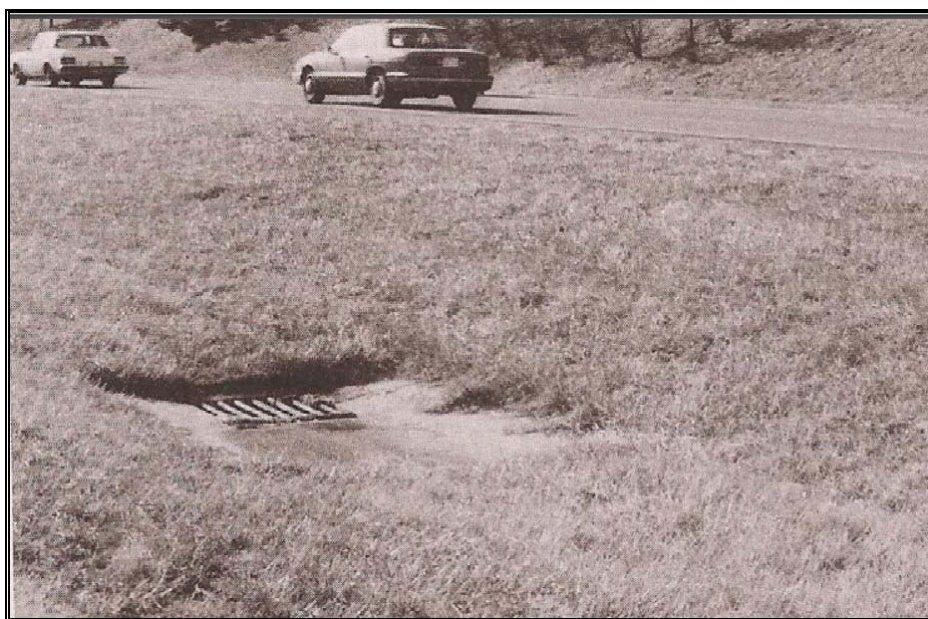
4.4.1. Áreas de recuperação

Os taludes laterais devem ser projetados, de modo que garantam a estabilidade da rodovia e sirvam como áreas de recuperação de veículos desgovernados. Nas vias expressas, taludes em cortes e aterros com declividade máxima de 1:4 (V:H) permitem aos motoristas algum controle sobre o veículo. Sarjetas transponíveis devem ser projetadas com pequena inclinação, suficientemente largas e rasas, de modo a permitirem a passagem de um veículo sem que o mesmo perca a direção. Quando não for possível atender a esses requisitos, devem ser remanejadas, substituídas por sistemas de drenagem subterrânea ou separadas da pista por barreiras que impeçam sua travessia. As características dos taludes laterais e sarjetas são discutidas nos *Manuais de Projeto Geométrico e de Drenagem* do DNIT e na publicação da AASHTO - *Roadside Design Guide* - 1989.

Os elementos de drenagem que podem constituir perigo para os motoristas(muros de testa, diques e valetas laterais íngremes) devem ser situados além das áreas de recuperação livre. Quando colocados em áreas vulneráveis, devem ser projetados de forma a diminuir o perigo que podem oferecer para veículos desgovernados. Por exemplo, quando se projeta um talude lateral, os dispositivos de captação de água de todas as galerias de escoamento dentro de sua área devem ser transponíveis. A

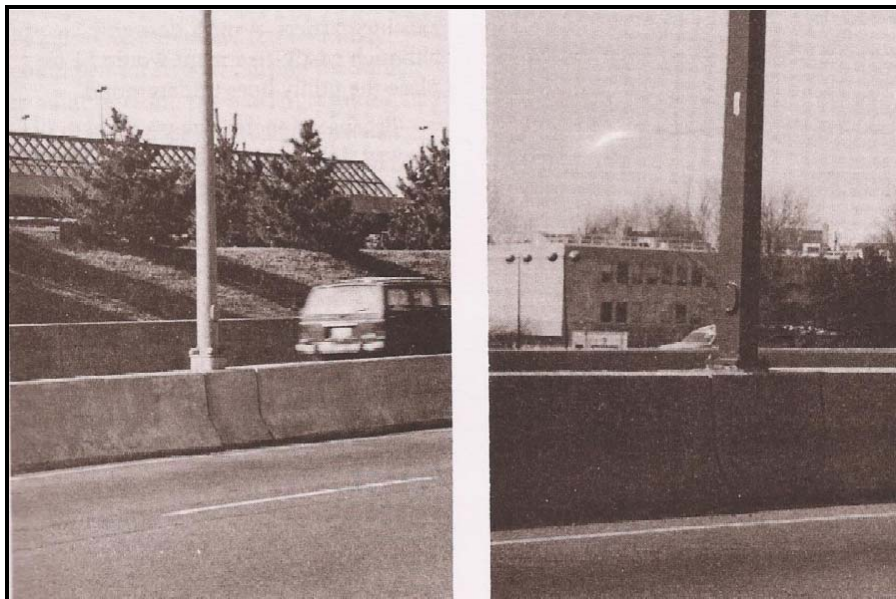
Figura 14 mostra um exemplo de grelha transponível no canteiro central, descarregando em um bueiro transversal.

Se um canteiro central é relativamente plano e sem obstruções, uma barreira pode ser vantajosa, mesmo quando as áreas de recuperação atendem às larguras mínimas necessárias. Há casos de implantarem-se barreiras em canteiro central com 13 m ou mais, dependendo das condições locais e do histórico de acidentes.

Figura 14– Canteiro central com grelha transponível

4.4.2. Suportes de luminárias, sinais e cercas

Todos os suportes de luminárias e sinais que podem ser atingidos por um veículo desgovernado devem ser escolhidos entre os tipos já testados com sucesso em colisões. As estruturas situadas dentro da área de recuperação devem ser frágeis, ou quebráveis, ou devem dispor de proteção adequada por barreira ou defensa. É também importante que essas estruturas sejam localizadas em terreno plano, para que funcionem adequadamente, quando atingidas.

Grandes suportes de sinais não são feitos para ser quebrados e devem ser protegidos por um sistema de barreiras ou defensas. As defensas devem ser colocadas, de modo que suas deflexões não cheguem a atingi-los, em caso de impactos. Suportes de luminárias que são colocados no topo de barreiras de concreto situadas nos canteiros (central ou lateral) devem ficar suficientemente afastados, de modo que não sejam atingidos por veículos com centros de gravidade elevados, em caso de impactos. Quando essas barreiras são estreitas e o tráfego se situa de ambos os lados, deve haver uma fixação suficientemente forte dos suportes, que impeça que se soltem e caiam em uma faixa de tráfego (Figura 15).

Figura 15 – Suporte de luminárias no topo de barreiras (quebrável e rígido)

As cercas das rodovias delimitam as faixas de domínio e servem para restringir os movimentos de pessoas e animais, aumentando a segurança. Podem constituir-se em obstáculos rodoviários, quando se situarem na trajetória de veículos desgovernados. Devem ser projetadas para oferecer segurança a eventuais impactos.

4.4.3. Barreiras e atenuadores de impacto

Barreiras são utilizadas para reduzir a severidade dos acidentes. Considerações devem ser feitas quanto ao uso daquelas que se revelaram de melhor performance em locais em que as condições de tráfego, velocidade e geometria desfavorável aumentam a probabilidade de ocorrência de impactos e as consequências são mais severas. Em rodovias com grande volume de tráfego, é especialmente importante o uso de barreiras e atenuadores de impacto. São preferíveis elementos que exijam pouca conservação e possam ser reparados com o mínimo de perigo para as equipes de manutenção e para os motoristas.

O desenvolvimento atingido no projeto e operação de barreiras permite fazer as seguintes observações:

- Extremidades de barreiras próprias para impactos devem ser usadas onde existir uma possibilidade razoável de serem atingidas por um veículo desgovernado, mesmo quando situado fora da área de recuperação;
- Extremidades não preparadas para colisões não devem ser usadas em locais passíveis de sofrerem impactos frontais;

- Extremidades curvadas para o solo podem resultar em suspensão e tombamento de veículos e não são adequadas para vias expressas de velocidades elevadas e grandes volumes de tráfego;
- Tanto para os atenuadores como para todos os tipos de tratamento das extremidades de barreiras, a regularização adequada das áreas laterais e imediatamente anteriores às extremidades é essencial para operação segura. A falta de manutenção dessa regularização inibe a eficiência da operação e pode resultar em problemas sérios para os atenuadores;
- A transição entre as defensas metálicas, flexíveis, e as barreiras de concreto rígidas, das obras-de-arte especiais, deve ser feita sem superfícies salientes. As conexões devem ser cuidadosamente projetadas, levando em consideração a resistência da conexão, o alinhamento das faces da barreira e da defensa e as diferenças na flexibilidade. Recomenda-se aumentar gradualmente a rigidez da defensa, até que atinja aquela da barreira rígida. Isto pode ser alcançado com a diminuição no espaçamento dos postes de fixação, emprego de postes mais fortes ou reforço da defensa na área de conexão.

Devido ao fato de que cada sistema de barreiras tem custos de implantação e condições operacionais e estéticas diferentes, há necessidade de que sejam preparados projetos e especificações adequadas para sua construção. Devem também ser preparadas políticas de manutenção para orientar os processos de substituição ou melhorias de sistemas danificados. Informações detalhadas referentes à seleção, localização e projeto de barreiras e defensas constam das publicações: Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais – DNER – 1996, Defensas Rodoviárias – DNER – 1979, Especificações para Barreiras, Defensas, Antiofuscantes e Separadores de Trânsito – DNER – 1977 e *Roadside Design Guide* – AASHTO – 1989/1996, bem como das Normas DNIT 109/2009 – PRO – Obras complementares - Segurança no tráfego rodoviário – Projeto de Barreiras de concreto – Procedimento e DNIT 110/2009-ES – Obras complementares - Segurança no tráfego rodoviário – Execução de barreiras de concreto – especificação de serviço.

4.4.4. Postes de serviços de utilidade pública

Os órgãos responsáveis pelas vias expressas decidem onde permitir a utilização das suas faixas de domínio por serviços de utilidade pública. No caso de localização ao longo da via, dentro das áreas de controle de acesso, a área ocupada por esses serviços continua subordinada aos órgãos responsáveis pela via, para evitar efeito danoso nas operações e segurança do tráfego.

Postes instalados paralelamente às vias expressas devem ser colocados tão longe quanto possível do leito da rodovia e fora das áreas de recuperação à margem da estrada. Se possível, deve ser impedido o acesso ao serviço de utilidade pública diretamente da rodovia. Desta maneira, os serviços que se

desenvolvem paralelamente à via devem ser postos fora das áreas de controle de acesso e, quando possível, fora da faixa de domínio, tornando o acesso aos postes mais fácil e seguro. Acesso para sua manutenção, diretamente da via ou de seus ramos de acesso, pode ser perigoso, tanto para o pessoal de manutenção como para o tráfego. Caminhões pesados desses serviços e seus equipamentos efetuando manobras lentas em torno do canteiro central, a partir da faixa de tráfego esquerda, de alta velocidade, criam problemas de segurança.

A ocorrência mais comum é a travessia da faixa de domínio por trechos desses serviços públicos. As travessias aéreas das vias expressas devem ser feitas com vãos mais espaçados, para restringir ainda mais a quantidade de postes. Dependendo da largura da faixa de domínio, um único vão pode atravessar os dois sentidos da via, ou um poste único deve ser colocado no canteiro central. Esses postes devem ficar fora das áreas de recuperação dos veículos trafegando em ambos os sentidos. Se há previsão de implantação de novas faixas de tráfego, as áreas de segurança devem ser determinadas com base na situação definitiva da via. Sempre que possível, postes instalados dentro de áreas de recuperação devem ficar situados atrás de barreiras existentes. A melhor solução, embora de custo mais elevado, é a travessia subterrânea da rodovia.

Devido à pressão crescente para uso das faixas de domínio para instalação de serviços de utilidade pública de longa extensão, devem ser desenvolvidas instruções para implantação desses serviços, que garantam de forma efetiva a segurança dos motoristas. A publicação *A Policy on the Accommodation of Utilities within Freeway Right-of-Way* – AASHTO – 1989 contém orientação para formulação dessas instruções.

4.4.5. Paisagismo

Uma rodovia deve ser projetada de modo a combinar, de forma tão agradável quanto possível, com o meio ambiente. Frequentemente isso exige um projeto de paisagismo, a ser implantado durante a construção ou como um melhoramento posterior. O paisagismo previsto deve contribuir para a segurança das vias expressas, reduzindo o ofuscamento provocado pelos faróis de veículos opostos, ajudando a identificação de mudanças no alinhamento da rodovia e ramos de acesso. Além disso, tem-se que tomar cuidado em não sacrificar, em nenhuma hipótese, as condições de segurança e operação da via. Os programas de tratamento paisagístico e de segurança do tráfego não podem e não devem estar desvinculados. Eventual arborização deve ser localizada de modo a assegurar adequada distância de visibilidade, quando for atingido o seu desenvolvimento final.

Algumas observações podem ser feitas como orientação:

- Não devem ser plantadas árvores, mesmo de pequeno porte, dentro das áreas de recuperação laterais: elas estão fadadas a ser atingidas por veículos desgovernados. Se plantadas em frente a barreiras de segurança, quando adquirirem certo porte, podem inclinar-se após uma colisão, levando o veículo a ultrapassar ou trepar na barreira, aumentando a severidade do acidente;
- Árvores de grande porte, plantadas no lado interno de uma curva, ao atingirem maior porte, podem reduzir de forma considerável a distância de visibilidade (Figura 16);
- Sempre que possível, o paisagismo deve poder prescindir de manutenção. Se forem necessários sistemas de irrigação, seus controles devem ser localizados perto do limite da faixa de domínio, com acesso fora da faixa. Com isso, se consegue reduzir a exposição do pessoal de manutenção ao tráfego da rodovia.

Figura 16– Paisagismo inadequado

4.5. INTERCONEXÕES

Uma grande percentagem dos acidentes ocorre nas áreas das interconexões. Certos problemas sucedem devido a deficiências nas combinações das condições do projeto. Consistência, continuidade, valores adequados de capacidade e distância de visibilidade, boa sinalização, minimização das diferenças de velocidades e atenção às expectativas dos motoristas, reduzem as pressões a que se sente submetido, melhorando sua atuação. Essas condições devem ser consideradas no projeto e operação das interconexões.

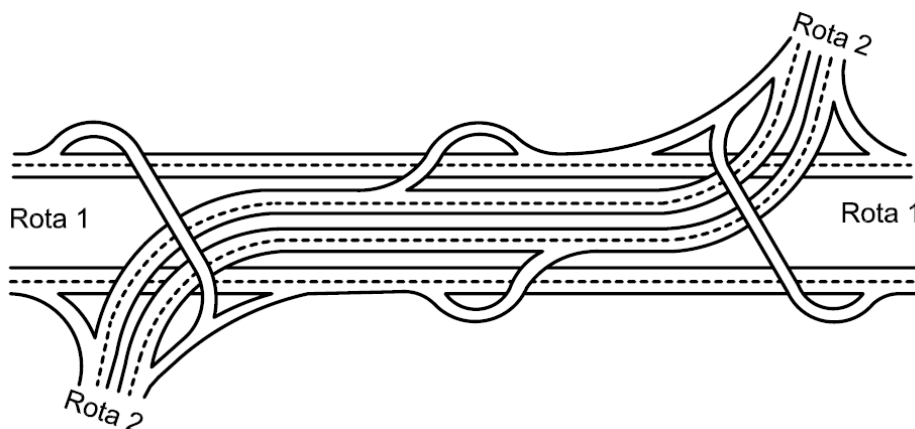
4.5.1. Consistência de projeto

A manutenção de características consistentes de projeto nas interconexões de uma via expressa permite que os motoristas saibam o que devem esperar, aumentando sua segurança. A maioria dos motoristas espera sair e entrar em uma rodovia pelo seu lado direito e, de um modo geral, espera um único ponto de saída antes de uma travessia. Problemas operacionais podem ser esperados se, após

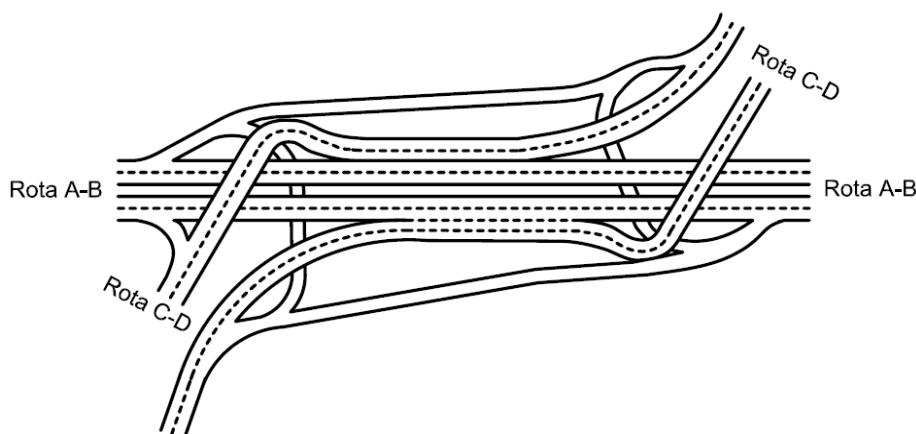
acessos pela esquerda, forem encontradas saídas pela direita a distâncias relativamente curtas, porque parte do tráfego invariavelmente atravessará todas as faixas para utilizar a próxima saída. Em cada interconexão, é conveniente que todos os movimentos esperados sejam atendidos.

Não se devem misturar características técnicas diferentes em um mesmo trecho. Por exemplo, permitir que projetos mais antigos, com pequenas faixas de aceleração, permaneçam, enquanto se constroem os novos, com faixas mais extensas.

Deve-se manter a continuidade das rotas que devem ser atendidas pelas faixas de tráfego direto. A superposição de diferentes rotas deve ser evitada, quando possível. Quando rotas distintas tiverem em comum trechos curtos (1,5 a 5 km), as duas rotas devem ser separadas, como indicado na Figura 17.

Figura 17 - Rotas que se cruzam sem utilizar trechos comuns

Quando não for possível a solução desejada, sendo necessário que ambas as rotas utilizem um trecho comum, pode-se adotar o projeto alternativo da Figura 18.

Os motoristas das vias expressas acostumam-se a viajar com velocidades elevadas. Saídas que exigem reduções súbitas de velocidade, principalmente os laços (*loops*), podem criar problemas operacionais e de segurança. Onde forem necessárias mudanças de velocidade, a transição deve ser feita tão suavemente quanto possível. O motorista deve dispor de distância adequada para desacelerar com segurança. A sinalização e a distância de visibilidade disponível desempenham papéis importantes na advertência quanto a eventuais problemas a enfrentar.

Figura 18 – Rotas que se cruzam e utilizam trechos comuns

4.5.2. Continuidade e equilíbrio de faixas

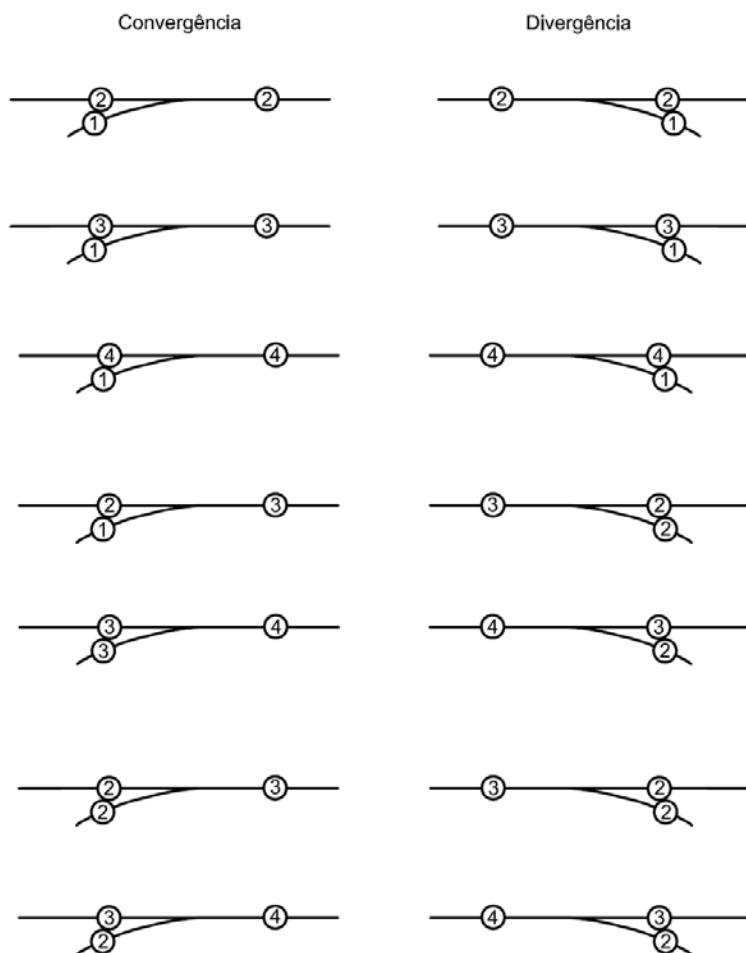
No projeto de uma via expressa, um número básico de faixas de tráfego deve ser estabelecido e mantido em toda a rodovia ou em uma parte significativa da mesma, independentemente das variações de volume de tráfego e da necessidade de equilíbrio das faixas. A descontinuidade no uso de faixas deve ser o resultado de modificação do número de faixas. A eliminação de uma faixa de tráfego direto em uma saída sem o uso de uma faixa auxiliar é um exemplo de falta de continuidade.

O conceito de equilíbrio de faixas, em saídas e entradas, é necessário, para conseguir operação suave, reduzir ao mínimo as mudanças de faixa e tornar mais claros para os motoristas os caminhos a serem seguidos. Em saídas, o equilíbrio de faixas requer que o número total de faixas, após o ponto de divergência, seja igual ao número de faixas chegando ao mesmo, mais um. Nos locais de entrada, o equilíbrio de faixas requer que o número de faixas após o ponto de convergência não seja menor que o número de faixas antes do ponto, menos um. Faixas podem ser reduzidas, uma de cada vez, e do lado direito. O número básico de faixas é controlado pela adição de faixas auxiliares com o comprimento necessário para utilizar plenamente a capacidade das entradas e saídas e permitir a colocação de adequada sinalização de advertência.

A subseção 9.4.6 - Balanceamento de faixas, do Manual de Projeto de Interseções DNIT – 2005, apresenta vários exemplos, reproduzidos na Figura 19. Diversos esquemas podem ser adotados para aumento e redução de número de faixas. Nesta figura são apresentados exemplos em que se mantém, reduz ou aumenta o número básico de faixas, mas obedecendo a seu equilíbrio.

Figura 19 – Balanceamento de faixas

Convergência

Divergência

4.5.3. Caminhões

Acidentes por engavetamento de caminhões podem ocorrer onde o pavimento molhado apresenta pequeno coeficiente de atrito. Se a drenagem for deficiente, caminhões com cargas leves, mesmo em curvas com grandes raios, podem estar sujeitos a problemas com aquaplanagem. A drenagem no contato do pneu com o pavimento pode ser melhorada com ranhuras no pavimento (*grooving*) ou pelo recapeamento com pavimento de boa macrotextura. Tanto em pavimentos novos como em restaurações, deve-se tomar cuidado em minimizar as áreas com pequena inclinação transversal, particularmente nas transições do coroamento normal para a superelevação única nas curvas de grandes raios. Acidentes são provocados em locais com grande necessidade de atrito transversal, particularmente nos seguintes casos:

- Superelevação muito pequena para a curvatura existente;
- Meio-fio implantado junto à borda externa da pista de rolamento;
- Curva com volume de tráfego relativamente alto, situada no final de uma forte descida;

– Múltiplas curvas separadas por tangentes curtas.

De um modo geral, curvas de raios pequenos em trechos em rampa e faixas de desaceleração ou aceleração curtas causam problemas para os caminhões. Maiores comprimentos de desaceleração e visibilidade adequada nas curvas permitem aos caminhões melhor ajustamento de suas velocidades. Os projetistas devem evitar descidas com mais de 4% de greide.

Os projetos das curvas devem levar em conta as diferenças de velocidades entre curvas e tangentes. Deve haver consideração cuidadosa das transições das tangentes para as curvas, para reduzir o perigo de capotamento. A superelevação já deve estar próxima ao seu valor final, ao ser atingida a curva circular. Transições em espiral são preferidas para curvas com raios pequenos, de modo a ter-se a superelevação plena no início da curva circular.

Devem-se evitar saídas nos lados externos das curvas que impliquem em redução da superelevação, o que ocorre se o ramo de saída apresenta uma curva em sentido contrário.

4.5.4. Espaçamento das interconexões

Vias expressas com maiores espaçamentos entre interconexões geralmente apresentam menores índices de acidentes. Acessos com espaçamento inferior a 450 m resultam em índices muito mais altos. O espaçamento deve ser no mínimo de 1,5 km, nas áreas urbanas, e 3,0 km, nas áreas rurais. O pequeno espaçamento provoca muitos problemas operacionais. Mesmo com adição de faixas auxiliares, a operação da via é insatisfatória, porque, durante os períodos de tráfego mais intenso, as manobras de entrecruzamento são de difícil execução. Valores recomendados para espaçamento entre ramos sucessivos de entrada e de saída de vias expressas são fornecidos no Manual de Projeto de Interseções do DNIT.

4.5.5. Tipos de interconexões

Estudos de acidentes mostram que as interconexões direcionais e em diamante são as mais seguras. Os maiores índices de acidentes se encontram nas interconexões com ramos em laço (*loop*) sem vias coletoras-distribuidoras, ramos em tesoura e saídas pela esquerda, responsáveis pelas maiores taxas. As interconexões com saídas simples pela direita, antes das vias transversais, apresentam menos acidentes que os demais tipos.

Tipos diferentes de interconexões tendem a confundir os motoristas. Aquelas que exigem giros de 270^o ou têm saídas duplas exigem sinalização substancial para reduzir os problemas operacionais.

4.5.6. Ramos

Os índices de acidentes nos ramos das interconexões são relacionados ao espaçamento e posicionamento das entradas e saídas, às velocidades de projeto, a distâncias de visibilidade e à sua geometria. Geralmente esses índices crescem junto com os volumes de tráfego, mas, em algumas rodovias rurais, saídas com baixo tráfego apresentam índices semelhantes aos das áreas urbanas. A capacidade e a segurança dos ramos de entrada e de saída das vias expressas dependem do seu projeto e localização.

a) Ramos de saída

Ramos de saída normalmente apresentam maiores índices de acidentes que os ramos de entrada. Isso pode ser atribuído aos veículos que entram nos ramos em curva com velocidades elevadas e a deficiências de capacidade no terminal de conversão. Com o objetivo de conseguir projetos mais seguros, são feitas as seguintes recomendações:

- Nas áreas urbanas, os ramos de saída devem ser alargados além do nariz, para aumentar a área de armazenamento e sua capacidade. Saídas do tipo taper, dotadas de adequadas faixas de desaceleração, são recomendadas. Se uma faixa auxiliar for necessária para conectar com um ramo de entrada anterior, essa faixa deve ter comprimento suficiente (desejavelmente 600 m), para permitir mudanças de faixa. Deve ser colocada sinalização preventiva, indicando que se trata de faixa exclusiva para saída. Faixas de desaceleração, de tipo paralelo, devem ter, de preferência, pelo menos 350 m de comprimento, para evitar que veículos utilizem a faixa de tráfego direto para desaceleração;

- Ramos de saída com velocidade de projeto muito abaixo da velocidade diretriz da rodovia principal (25 km/h ou mais de diferença) devem proporcionar uma boa distância de visibilidade do sinal de advertência de redução de velocidade e do próprio ramo. Uma boa visão do motorista da curva fechada do ramo reforça a mensagem de advertência;

- Ramos devem deixar a rodovia em um ponto em que não haja curvatura vertical que restrinja a visibilidade ao longo do mesmo. Ramos que apresentam curvaturas que os afastem da linha de visibilidade dos motoristas devem ser evitados;

- Ramos com curvas reversas, sem trecho em tangente intermediário de comprimento suficiente, devem ser evitados;

- Os ramos devem abandonar a rodovia em um trecho em tangente;

- Quando, em um ramo de saída, o motorista tem que poder visualizar sucessivos pontos perigosos, a distância de visibilidade requerida deve ser maior que a distância de visibilidade para tomada de decisão recomendada no Manual de Projeto de Interseções do DNIT;
- Devem ser evitadas obstruções na área triangular (*gore*), imediatamente após o ponto de divergência de duas pistas adjacentes. Quando forem inevitáveis, devem ser utilizados meios de atenuar possíveis impactos. Taludes pouco inclinados e área de recuperação adicional a partir do nariz teórico são desejáveis. Suportes de sinais, luminárias, meios-fios e vegetação que possam apresentar alguma resistência não devem ser permitidos na área triangular. O sinal padrão indicando a saída pode ser colocado nessa área, mas deve ter suporte quebrável ou frágil. Eventual fundação em concreto deve ficar ao nível da rodovia.

b) Ramos de saídas com múltiplas faixas

Volumes de tráfego a partir de 1.500 veículos por hora são mais bem atendidos por ramos com duas faixas. Conexões entre vias expressas devem ter ramos de múltiplas faixas, que permitam sua máxima utilização. Um ramo de faixa única, servindo cada sentido da conexão, é passível de congestionamento e sujeito a problemas de segurança.

Para que funcione adequadamente, uma saída de uma pista com várias faixas deve começar a, pelo menos, a 600 m antes da bifurcação. Os veículos terão, então, bastante tempo para mudar de faixas e utilizar a capacidade disponível do ramo de saída, permitindo também instalar uma sinalização prévia mais efetiva. Uma faixa auxiliar deve ser adicionada à pista da via expressa para cada faixa do ramo de saída. Orientação para o projeto pode ser encontrada no Manual de Projeto de Interseções do DNIT.

- **Saídas pela esquerda**. Embora indesejáveis, podem ser necessárias saídas pela esquerda em alguns locais. Há que ser dada atenção especial ao projeto e à sinalização dessas saídas, incluindo preferivelmente sinais suspensos sobre a pista.
- **Reduções de faixas nas saídas**. A redução de faixas em saídas deve atender aos valores de distância de visibilidade para tomada de decisão. Os locais adequados para essa redução são trechos em nível ou greides em subidas anteriores a curvas verticais convexas. É recomendável o uso de marcas no pavimento específicas para indicação da redução de faixas nos ramos de saída.

c) Ramos de entrada

Aproximadamente a metade dos acidentes nos ramos de entrada ocorre na área de incorporação na via expressa. Ramos de entrada com faixas de aceleração superiores a 250 m apresentam menores índices de acidentes. Recomenda-se o uso de faixas auxiliares ou *tapers* longos. É também necessário que se disponha de adequada distância de visibilidade. Os greides da rodovia e dos ramos de entrada devem ser aproximadamente iguais, para que os veículos que convergem tenham boa visibilidade. O projeto dos ramos de entrada e das áreas de convergência deve levar em conta o efeito de greides de subida, sobretudo quando são previstos grandes volumes de caminhões pesados.

Ramos de entrada provenientes de ruas locais devem convergir para a faixa da direita da rodovia. Quando duas vias expressas se unem diretamente, se possível, deve ser evitado que um ramo de conexão parta do lado esquerdo, porque essas conexões apresentam índices de acidentes muito maiores que quando partem do lado direito. Se uma conexão é feita, partindo do lado esquerdo à faixa, deve continuar pela rodovia de destino sem requerer convergência, mudança de faixa ou outra ação.

d) Ramos de entrada com múltiplas faixas

Para volumes superiores a 1.500 veículos por hora, devem ser previstas duas faixas, para reduzir congestionamentos e melhorar a operação. Os ramos podem ser dos tipos taper ou paralelo, como indicado no Manual de Projeto de Interseções do DNIT. O tipo paralelo opera melhor, principalmente junto com uma faixa auxiliar adequada.

e) Ramos específicos para caminhões

Quando duas vias expressas convergem para uma única, o tráfego de menor velocidade, que percorre a faixa da direita da via expressa esquerda, mistura-se com o tráfego de alta velocidade da faixa esquerda da via expressa direita. Quando há grande volume de caminhões ou o greide é elevado, estes têm dificuldade de entrecruzar com o tráfego de maior velocidade, para se deslocar para a faixa da direita, surgindo problemas operacionais e de capacidade. Uma forma de solucionar o problema é criar uma conexão especial, em nível diferente, para conduzir os caminhões diretamente para a faixa da direita.

f) Agulhas

Quando a via marginal é de sentido único, canteiros laterais com larguras adequadas devem ser providos entre a via expressa e a via marginal, para permitir a inclusão de agulhas com faixas de mudança de velocidade nos locais previstos para transferências de tráfego entre essas vias. Para conexão de vias marginais de dois sentidos de tráfego com a via expressa, agulhas não são

satisfatórias, sendo necessário que o canteiro permita implantar uma interseção de 90° com a via marginal.

4.5.7. Interseções com vias transversais

As interseções de vias transversais com ramos de acessos apresentam grande potencial para acidentes, principalmente quando a canalização e a sinalização não enfatizam a necessidade de obedecer à proibição de manobras na contramão. Esse problema surge principalmente à noite e com pouco volume de tráfego.

Soluções pouco comuns, incluindo interconexões em trevos parciais com saídas e entradas em um mesmo quadrante, com separação inadequada, sem canalização nem canteiros centrais na via transversal, dão origem frequentemente a movimentos na contramão. A interseção de um ramo de acesso com uma via transversal pode ter um efeito prejudicial à capacidade do ramo. No caso de fluxos muito elevados, congestionamentos podem ocorrer no ramo e atingir a via expressa. Se as condições permitirem o aumento do número de faixas após a saída da via expressa, esse problema pode ser minimizado.

Problemas operacionais frequentemente ocorrem na interseção do término do ramo de uma interconexão com uma via arterial. Quanto maior for a distância dessa interseção ao eixo da pista da via expressa, melhores serão as condições de operação do ramo. Pelo menos 25 m de separação deve ser provida.

Quando o término do ramo é próximo de outra interseção, manobras de entrecruzamento na via arterial podem reduzir, de forma significativa, a capacidade da arterial e aumentar o potencial de acidentes no ramo. Acessos a vias arteriais de grande volume de tráfego devem ficar situados a distâncias razoáveis desse ponto, de 150 a 230 m, principalmente em áreas urbanas muito desenvolvidas. Quando há dificuldade de atender a essas distâncias mínimas, ou for muito grande o volume de entrecruzamento, ou ocorrerem problemas de segurança, pode ser adotado projeto que elimine alguns dos movimentos, como giros à esquerda. Isso pode ser conseguido com sinalização adequada ou por separação com canteiros.

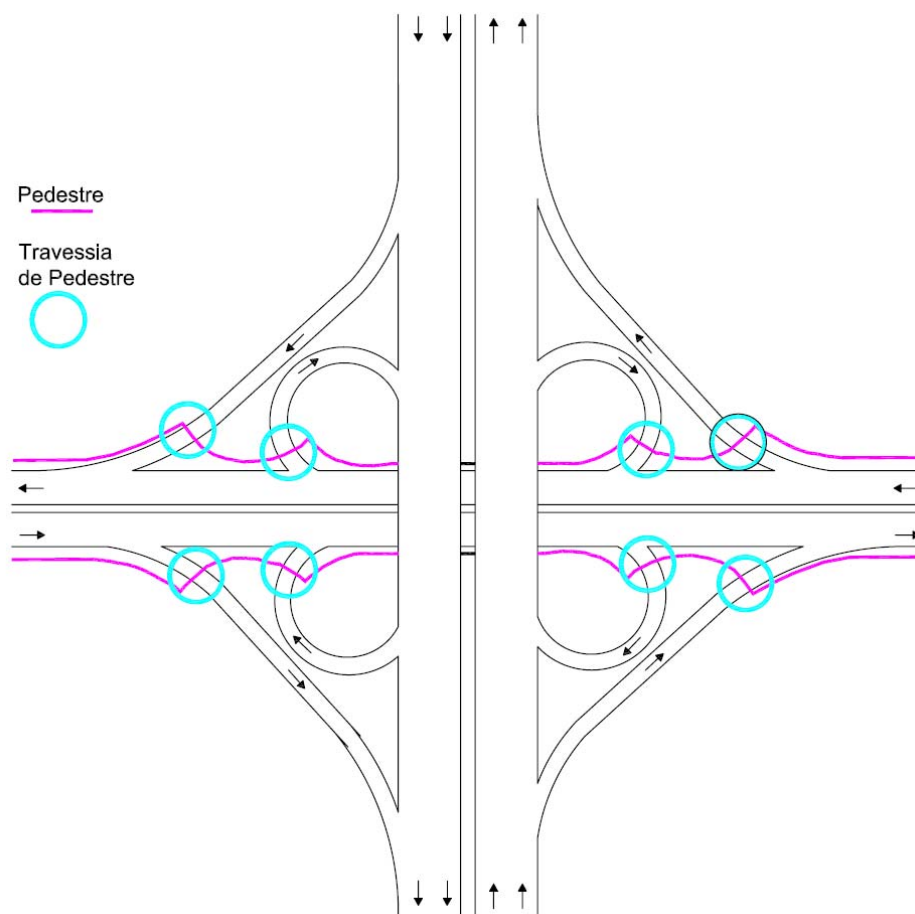
As distâncias de visibilidade nos pontos terminais dos ramos de acesso devem ser consideradas, levando em conta o possível crescimento do tráfego e interferência de estruturas locais (pontes, viadutos, guarda-corpos etc).

4.5.8. Entrecruzamentos

Em vias expressas de grande volume de tráfego, um ramo de entrada seguido de um ramo de saída a pouca distância, pode sobrecarregar a faixa auxiliar entre os dois terminais, cuja função é acomodar os fluxos dos ramos. A interconexão do tipo trevo completo, com pequenas distâncias entre os ramos em *loop* sucessivos, frequentemente apresenta problemas operacionais e de segurança, devido aos volumes de entrecruzamento. O uso de pistas coletoras-distribuidoras minimiza o problema, simplificando a sinalização e separando fluxos de diferentes velocidades. A adição de uma faixa auxiliar, de comprimento adequado entre dois ramos sucessivos de faixa única com grande volume de tráfego, geralmente atende à capacidade necessária. No entanto, a adição de faixas pode não resolver os problemas de entrecruzamento. Com efeito, um ramo de saída de duas faixas situado pouco após um ramo de entrada não deve operar de forma satisfatória, pelo fato do tráfego de saída se dividir em duas correntes, obrigando o tráfego de entrada a atravessar duas faixas de tráfego em uma pequena distância, efetuando duas manobras sucessivas de entrecruzamento. Volumes elevados de manobras de entrecruzamento exigem maiores comprimentos, para permitir aos veículos tempo para trocar de faixas, o que é melhor resolvido aumentando as distâncias entre acessos sucessivos.

4.5.9. Acomodação de pedestres e ciclistas em interconexões urbanas e suburbanas

Interconexões devem ser projetadas de modo a aumentar a atenção e controlar o movimento dos pedestres, ciclistas e motoristas. Deve-se adotar, onde necessário, sinalização orientadora e de controle, iluminação dos trechos de travessia e de saída, marcação com pintura de pista dos locais de travessias, canalização do tráfego de pedestres e ciclistas, construção de passarelas e passagens inferiores, instalação de barreiras e utilização de controle por semáforos dos conflitos dos movimentos de acesso aos ramos de entrada e saída da via expressa. O tratamento a ser dado em cada situação depende de custos, distâncias de visibilidade, condições dos alinhamentos horizontal e vertical e dos volumes e manobras previstas para o tráfego. A Figura 20 apresenta um exemplo para uma interconexão do tipo trevo completo. As travessias de pedestres são previstas perpendiculares às vias. Onde existem pontes ou viadutos, dependendo dos volumes de pedestres e ciclistas, passeios laterais devem ser previstos em ambos os lados das estruturas. Se existirem defensas ou barreiras nos extremos das estruturas, devem-se prever passagens de contorno para os pedestres e ciclistas.

Figura 20 – Acomodação dos pedestres em um trevo completo

5. RODOVIAS RURAIS

5. RODOVIAS RURAIS

O sistema de rodovias rurais do Brasil compreende cerca de 180.000 km de rodovias pavimentadas e 1.800.000 km de rodovias com revestimento primário ou em terra, sem revestimento.

As rodovias rurais pavimentadas normalmente apresentam índices de acidentes fatais de duas a três vezes maiores que as rodovias urbanas. Tal fato resulta da associação de altas velocidades com características técnicas de projeto inferiores às desejáveis para as condições atuais.

As velocidades de operação e volumes de tráfego têm crescido. Novos veículos de carga, compostos de duas a quatro unidades (CVC), de maior comprimento e cargas elevadas, chegando a 30 metros e 70 toneladas, apresentam participação cada vez mais elevada na frota nacional.

O desenvolvimento ao longo das rodovias tem criado maior número de acessos e pontos de conflito. Objetos fixos potencialmente perigosos, como postes, jardineiras e suportes de sinais têm sido instalados à margem das rodovias. Maiores números de veículos estacionam próximos aos centros de maior atividade e locais de recreio. Tem, também, aumentado o tráfego de bicicletas e pedestres nas rodovias rurais.

Devido às condições relacionadas, o sistema de rodovias rurais apresenta maiores desafios, em termos de segurança. A grande extensão de rodovias dificulta a provisão dos recursos necessários à implementação de medidas desejáveis para um bom desempenho operacional e de segurança. Os projetistas e responsáveis pelo desempenho do sistema devem procurar soluções alternativas que sejam economicamente viáveis.

5.1. CRITÉRIOS DE PROJETO

5.1.1. Continuidade

A experiência dos motoristas com a ocupação marginal da rodovia e as condições de operação ao longo da mesma são os fatores que estabelecem suas expectativas e forma de proceder. Se uma rodovia apresenta continuidade de projeto, os motoristas atuam de forma consistente com a situação que lhe é familiar. Se há mudanças sensíveis, suas reações são mais lentas e suas decisões podem ser menos adequadas. O planejamento e o projeto devem evitar mudanças bruscas das condições das rodovias. Quando as características mudam, o que é comum nas áreas rurais, os motoristas devem ser alertados através de sinalização e provisão de medidas de segurança. Os projetistas devem procurar aplicar características técnicas de padrão elevado. A orientação apresentada a seguir estabelece os valores mínimos aceitáveis. Devem, entretanto, ser adotados valores que representem padrões desejáveis, sempre que economicamente viáveis.

5.1.2. Velocidade de projeto

Como já observado anteriormente, o fator básico para determinação das características a serem atendidas pela geometria da rodovia e qualidade desejada para a sua operação é a velocidade de projeto ou velocidade diretriz. O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – DNER – 1999 apresenta os valores das velocidades diretrizes a serem adotados para as diferentes classes de projeto, tanto para rodovias a serem implantadas como para melhorias das existentes. Para projetos de restauração, pode ser consultada, também, a publicação *Designing Safer Roads: Practices for Resurfacing, Restoration, and Rehabilitation* – TRB – 1987.

5.1.3. Alinhamento horizontal e vertical

Os trechos em curva apresentam índices de acidentes da ordem de 1,5 a 4 vezes maiores que trechos em tangente de mesmo comprimento e volume de tráfego. Além disso, um acidente em curva tem maior probabilidade de resultar em morte ou ferimentos graves.

A publicação *Safety Improvements on Horizontal Curves for Two-lane Rural Roads – Information Guide* – FHWA – 1991 contém recomendações para o projeto de curvas horizontais em trechos novos de rodovias e para a reconstrução ou execução de melhoramentos em curvas existentes de rodovias rurais de duas faixas. Essa publicação também inclui procedimentos e dados gerais que podem ser usados para determinar benefícios de várias combinações de melhorias em curvas. As recomendações para novos trechos de rodovia são apresentadas a seguir:

- Devem ser adotadas seções de rodovias com características consistentes;
- Devem ser evitados grandes ângulos centrais;
- Deve ser evitado o uso dos raios mínimos permitidos para as diferentes velocidades;
- Devem ser usadas curvas de transição como rotina de projeto, especialmente para velocidades de 100 km/h ou maiores;
- Devem ser projetadas áreas laterais que forneçam maior segurança, principalmente nas curvas de menores raios;
- Deve ser projetada superelevação adequada em todas as curvas;
- Não devem ser admitidos pontos potencialmente perigosos em curvas ou próximos às mesmas;
- Devem ser providos pavimento adequado e acostamentos com boas condições, principalmente em curvas com raios menores, devido a serem sujeitos a maior aceleração lateral e maior demanda de atrito.

5.1.4. Zonas de velocidade reduzida

Zonas de velocidade reduzida são trechos da rodovia em que a natureza da geometria requer que se adotem limites de velocidade inferiores aos normalmente exigidos pela classe da rodovia e tipo de terreno atravessado. Essas zonas são comumente usadas em trechos de rodovias rurais, cujo desenvolvimento mude, de forma substancial, o caráter da área atravessada, como cidades e empreendimentos de vulto. Nessas zonas há um aumento significativo de acessos à rodovia, de pontos de conflito e de tráfego de pedestres e de bicicletas, que justificam a redução do limite de velocidade. É conveniente que as comunidades afetadas sejam consultadas, de modo a atender a seus interesses e garantir seu apoio às medidas adotadas para as reduções de velocidade que se tornarem necessárias.

Um processo de determinar o limite de velocidade adequado para essas zonas é a execução de um estudo de velocidade pontual, para identificar a velocidade abaixo da qual 85% dos veículos trafegam. Essa velocidade normalmente se situa de 10 a 23 km/h acima da velocidade limite recomendável. A ocorrência de descontinuidade dentro de uma zona de velocidade reduzida deve ser analisada, a fim de verificar a possibilidade de eliminar suas causas ou identificar a necessidade de complementar a sinalização.

Não é adequado criar zonas de velocidade reduzida para tornar mais acanhadas as características técnicas a serem adotadas em um determinado trecho. Isso iria violar as expectativas dos usuários e pode provocar desrespeito à sinalização.

5.1.5. Zonas de ultrapassagem

Zonas adequadas para a ultrapassagem de veículos são essenciais nas rodovias rurais de duas faixas e dois sentidos de tráfego. Informações quanto à provisão de adequada distância de visibilidade, para ultrapassagem de um carro de passeio por outro carro de passeio, constam do Manual para Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – DNER – 1999.

É desejável prover tantas oportunidades de ultrapassagem quantas forem possíveis em um trecho de rodovia. Esta prática é particularmente recomendada em áreas em que há poucas oportunidades para ultrapassagem e em rodovias com participação de veículos lentos. Há que se levar em conta, todavia, o princípio de consistência do projeto. A ocorrência de zonas de ultrapassagem muito curtas, em trechos em que predominam zonas longas, pode violar as expectativas dos usuários, acostumados com as zonas mais longas. É preferível evitar essas misturas de zonas. Zonas curtas podem ser necessárias em terreno montanhoso, para permitir a ultrapassagem de veículos pesados, onde não se podem prover faixas para ultrapassagem de caminhões.

5.1.6. Faixas de ultrapassagem

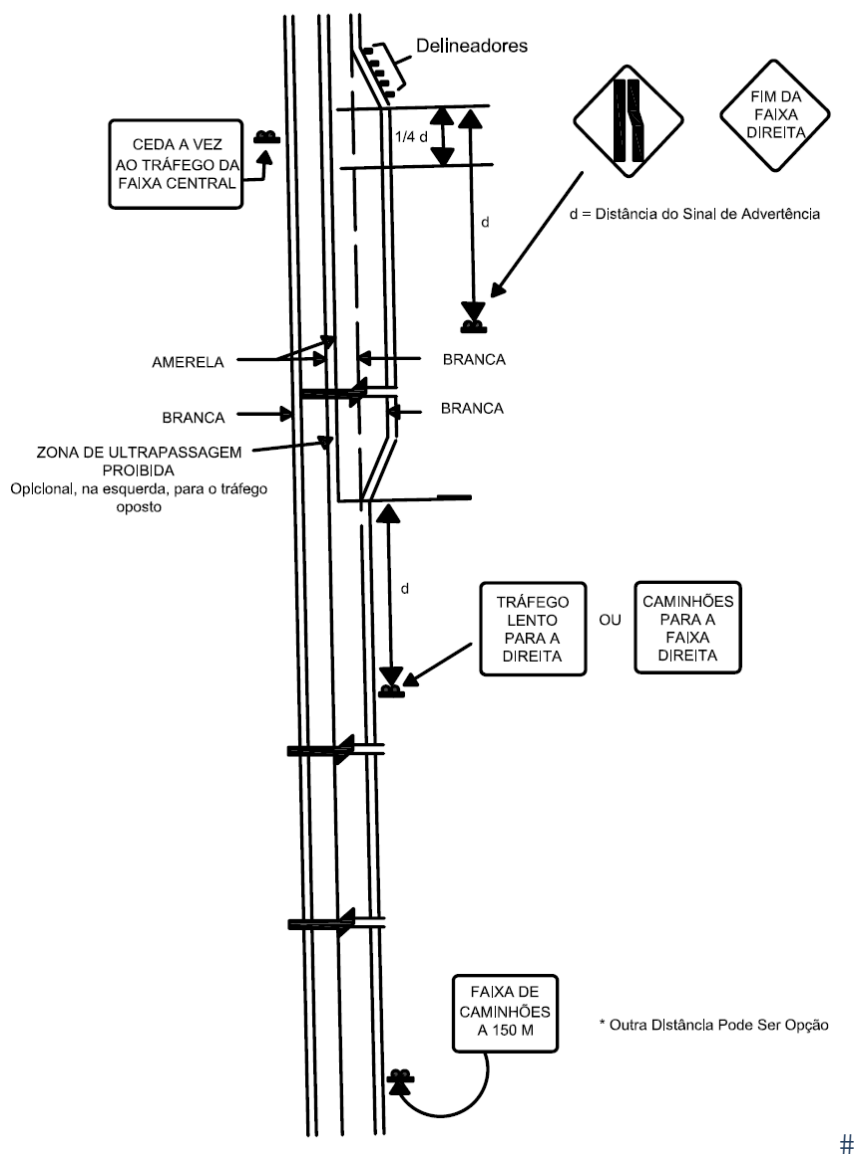
Faixas de ultrapassagem são faixas auxiliares acrescentadas a vários trechos de uma rodovia de duas faixas e dois sentidos de tráfego, para oferecer a frequência desejada de zonas de ultrapassagem ou para eliminar a interferência de veículos lentos pesados, ou as duas coisas. São usadas em terreno plano ou ondulado, quando restrições a ultrapassagens são criadas por distâncias de visibilidade limitadas ou grandes volumes de tráfego. A falta de trechos frequentes com distância de visibilidade adequada para ultrapassagem, com elevados volumes de tráfego, especialmente com a significativa participação de grandes veículos de carga (CVC), resulta em demoras e redução da segurança. A justificativa para o aumento das oportunidades de ultrapassagem é usualmente baseada na determinação dos níveis de serviço, de acordo com os procedimentos do *Highway Capacity Manual*. A determinação dos pelotões de tráfego (tráfego com intervalos entre veículos de 5 segundos ou menos) pode ajudar na identificação dos locais próprios para incluir as faixas de ultrapassagem. A identificação da necessidade dessas faixas deve considerar trechos extensos de, pelo menos, 10 km.

A introdução dessas faixas deve ser claramente justificada para os motoristas, por exemplo, pela existência de extensos segmentos em que não podem ultrapassar. A importância para o usuário é mais óbvia onde a distância de visibilidade é restrita do que em longas tangentes, onde é mais comum a ocorrência de oportunidades de ultrapassagem. Em alguns casos, uma faixa auxiliar em uma longa tangente pode encorajar veículos lentos a aumentarem suas velocidades, reduzindo a possibilidade de ultrapassagem. Trechos com curvas horizontais que exigem baixas velocidades são também impróprios para adoção dessas faixas, já que reduzem as velocidades de todos os veículos. Há também a necessidade de atender a uma distância de visibilidade mínima de 300 m na aproximação de cada taper, bem como evitar a inclusão de interseções e acessos com volumes expressivos de veículos. O comprimento ótimo de uma faixa de ultrapassagem é de 0,8 a 3,2 km, além das extensões dos tapers para adição e redução de faixa.

A ultrapassagem para os veículos trafegando no sentido oposto dessas faixas pode ser permitida ou não. Deve ser decidida pelo exame da geometria, do desenvolvimento marginal, dos volumes de tráfego e das limitações de distância de visibilidade.

A sinalização deve informar com antecedência o início da faixa de ultrapassagem e, também, o seu fim. A Figura 21 apresenta um exemplo de sinalização a ser usada.

Figura 21 – Sinalização recomendada para faixas de ultrapassagem

#

5.1.7. Faixas de subida

Greides elevados provocam desaceleração nos veículos de carga pesados e provocam desequilíbrio dos ciclistas. A maior velocidade que pode ser mantida por um caminhão depende do comprimento e grau de declividade do greide e da relação massa/potência do veículo.

Uma faixa auxiliar de subida, construída em rampa ascendente de uma rodovia de duas faixas e acostamento pavimentado para ciclistas, deve ser considerada, quando o comprimento crítico correspondente ao greide é excedido, ou seja, quando o comprimento do greide causa uma redução de 15 km/h, ou mais, na velocidade dos veículos pesados. Este critério, preconizado pelo manual da AASHTO, de 2004, é baseado no desempenho de um caminhão de relação massa/potência de 120 kg/kW. Critérios mais gerais para avaliar a necessidade de faixas de subida são apresentados no

Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais e são compatíveis com os recomendados pelo manual da AASHTO, de 2004. Quanto aos ciclistas, pode-se observar que devem ser usados acostamentos de 1,80 m a 2,40 m para subida, sempre que o greide exceder 2% ou 30 m de comprimento.

5.2. CANTEIROS CENTRAIS E ÁREAS MARGINAIS

5.2.1. Canteiros centrais

Rodovias de múltiplas faixas em áreas rurais devem ter canteiros centrais com largura suficiente para incluir faixas para giro à esquerda em interseções, que sempre são vantajosas para capacidade e segurança. Geralmente, larguras de 4 a 7 m são satisfatórias. Para acomodar uma faixa de 3,60 m, um canteiro separador deve ter, pelo menos, a largura de 5,50 m. As larguras de 5 a 20 m podem apresentar problemas operacionais em interseções. Os canteiros centrais com larguras próximas de 20 m são difíceis de sinalizar e não cobrem os veículos mais longos em tráfego. Os motoristas, em geral, preferem canteiros com larguras estreitas ou que provêm refúgio suficiente para permitir que as pistas de sentidos contrários sejam atravessadas uma de cada vez.

Quando uma rodovia de duas faixas e dois sentidos de tráfego é ampliada para quatro faixas, frequentemente é projetada uma pista independente, para compor a nova rodovia, conseguindo-se, com isso, melhores condições geométricas. Nas interseções em nível da nova rodovia, os perfis das duas pistas devem ser aproximadamente iguais, para evitar problemas operacionais.

5.2.2. Taludes laterais

Os taludes laterais devem ser construídos com inclinações tão suaves quanto possíveis, consistentes com a velocidade diretriz, volume de tráfego e curvaturas horizontal e vertical. Se um veículo desgovernado sai da rodovia e se desloca sobre o talude lateral, a experiência mostra que se deve ter uma inclinação máxima de 1V:4H, para que o motorista mantenha o controle do veículo. Em trechos novos o emprego de taludes de 1V:6H, ou mais brandos, é desejável. O mesmo critério deve ser aplicado para restauração ou melhoramento, atendendo naturalmente às limitações impostas pela faixa de domínio disponível, recursos econômicos e obras-de-arte existentes.

Embora seja desejável manter a uniformidade das áreas laterais, em alguns casos reduções locais das inclinações dos taludes podem representar melhorias em termos de segurança. Os taludes elevados apresentados na Figura 22 são exemplos de locais com potencial para criação de problemas.

O abrandamento dos taludes deve ser considerado nos seguintes casos:

- Junto à borda externa das curvas;
- Nas aproximações das interseções, acessos e travessias do canteiro central;
- Próximo de pilares de viadutos, bueiros e barreiras, especialmente nas proximidades de terminais de entrada e de saída.

Atenção deve ser dada aos acessos conectando vias públicas a propriedades adjacentes. Inclinações de 1V:6H, ou menores, são recomendadas. Muros e aterros fortemente inclinados não devem ser implantados.

No caso de restauração com melhoramentos, pode não ser viável atender a todos os locais que merecem alguma alteração. A provisão de taludes laterais pouco inclinados, livres de obstáculos que impeçam sua transposição, pode, em muitos casos, mitigar os efeitos de um local com condições abaixo das desejáveis. Deve ser considerada a remoção de árvores de pequeno porte, que podem provocar o tombamento de veículos, agravando eventuais traumatismos sofridos pelos ocupantes.

Figura 22 – Taludes laterais elevados

5.2.3. Dispositivos de drenagem

Em trechos novos, os dispositivos de drenagem adjacentes à rodovia devem ser transponíveis por bicicletas e automóveis, quando se situam no caminho dos veículos ou são passíveis de ser atingidos por veículos desgovernados, como consta da Figura 23.

Elementos de drenagem com altura maior que 10 cm acima do solo, como apresentado na Figura 24, podem atingir o fundo de um veículo e provocar sua instabilidade e, em alguns casos, acidentes de ciclistas. Esses elementos devem ser reconstruídos, de modo que possam ser transpostos sem problemas. Aterros laterais e diques usados para aumentar a eficiência da drenagem devem ser evitados ou projetados de modo a serem adequadamente transponíveis.

Figura 23 – Ralo transponível

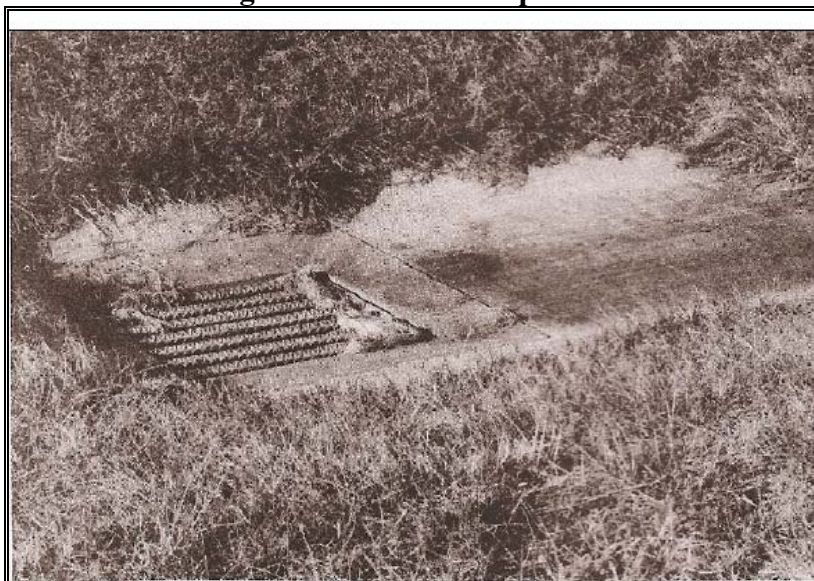
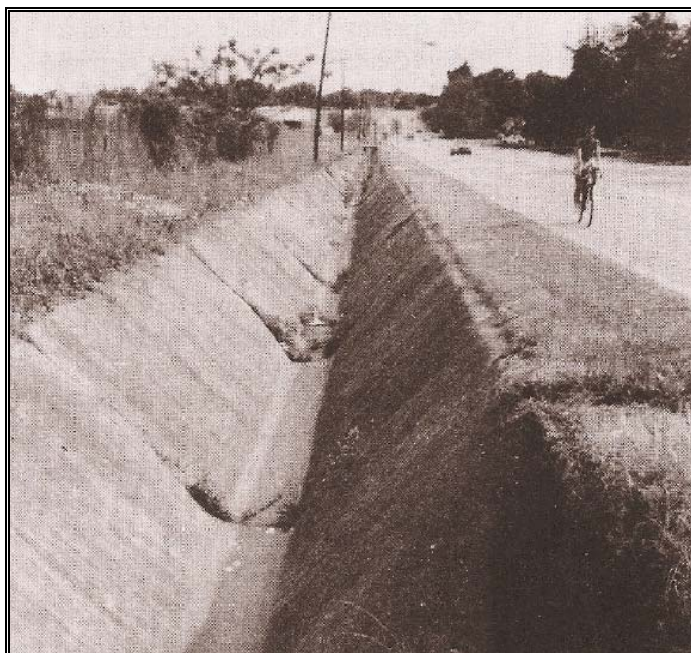



Figura 24 – Projeto deficiente de ralo

Dispositivos de drenagem situados fora do trajeto dos veículos, mas que podem ser atingidos por veículos desgovernados e não são passíveis de melhorias adequadas, devem ser caracterizados, de forma a serem claramente vistos e reconhecidos. Isso não reduzirá a severidade de algum acidente que houver, mas reduzirá a probabilidade de sua ocorrência.

Em muitos casos, podem ser necessárias valetas de drenagem adjacentes à pista de rolamento. Isso é comum nos locais onde ocorre desenvolvimento ao longo de uma rodovia e quando é feito alargamento em uma faixa de domínio estreita. Frequentemente essas valetas são suficientemente

profundas, de modo a manter o nível da água abaixo do nível da rodovia, e não podem ser projetadas de modo a serem transponíveis, devido a limitações de espaço, como indicado na Figura 25. Esse tipo de valeta associado a saídas de bueiros pode causar acidentes graves e capotamento de veículos. Um sistema subterrâneo de drenagem deve ser considerado ou, onde a severidade do problema justificar, um sistema de barreira deve ser projetado, de forma a oferecer uma maior segurança. Sistemas de drenagem subterrânea têm a vantagem de prover uma travessia mais segura, principalmente nas proximidades dos acessos, onde as barreiras têm que terminar.

Figura 25 – Valeta lateral intransponível

Extremidades de bueiros devem ser projetadas, de modo a serem transponíveis, se houver a possibilidade de serem atingidas por veículos desgovernados. As inclinações dos taludes junto às áreas laterais de segurança também devem ser transponíveis. Caso isso não seja viável, o bueiro deve ser prolongado numa extensão além da área de recuperação livre à margem da rodovia, eliminando os muros de testa maciços e os buracos profundos adjacentes à via trafegável, no interesse de obter-se uma segurança maior.

Bueiros nos acessos e interseções também devem ser transponíveis, sempre que estiverem dentro da área de recuperação livre, especialmente se um veículo desgovernado possa ser conduzido à extremidade do bueiro por uma valeta de drenagem, como exemplificado na Figura 26.

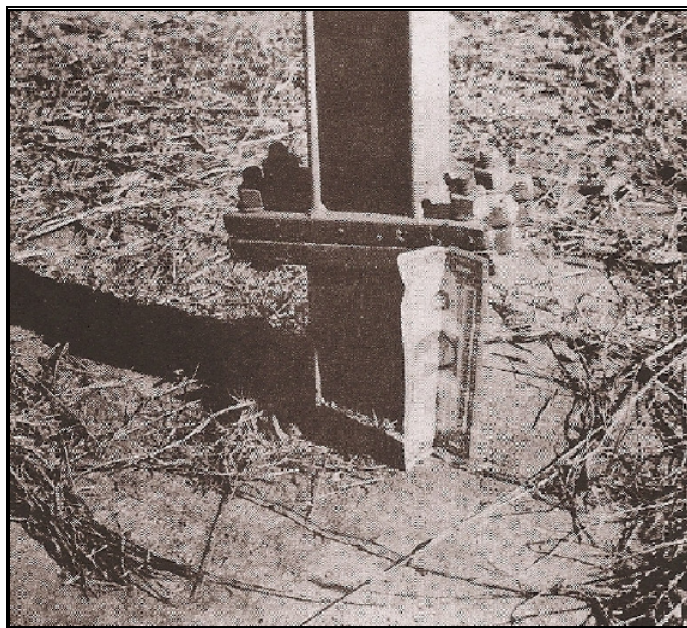
Figura 26 – Extremidade de bueiro dentro da área de recuperação livre

5.2.4. Suportes de sinais e de luminárias

Todos os suportes de placas de sinais de tráfego que possam ser atingidos por um veículo devem atender a condições de segurança adequadas. Suportes quebráveis são a solução mais empregada. São classificados pela maneira como se portam, quando são atingidos: suportes que se quebram em sua base ou em uma junta e suportes que se inclinam ou são arrancados do solo. Quando forem instalados em áreas desenvolvidas, deve-se tomar cuidado em localizá-los onde não possam cair sobre pedestres ou construções.

Há diversos pontos importantes que devem ser considerados no projeto dos sistemas de suporte a serem utilizados:

- Os sinais e seus suportes devem ser localizados em áreas onde não possam ser facilmente atingidos, como estruturas elevadas, ou atrás de barreiras ou em um ponto elevado de um talude de corte. A visibilidade do sinal não deve ser sacrificada;
- Suportes de sinais múltiplos não devem ser agrupados. Postes de suportes pouco espaçados (menos de 2,10 m de afastamento) devem ser evitados, a menos que tenham sido submetidos com sucesso a testes de colisões. A experiência mostra que esses tipos geralmente não são satisfatórios;
- Sistemas quebráveis devem ser instalados corretamente. A altura do mecanismo quebrável é um fator crítico. Qualquer parte remanescente, após sua quebra, não deve ficar mais que 0,10 m acima da área vizinha. Na Figura 27 tem-se um exemplo que não pode funcionar adequadamente: a base quebrável e o pedestal de concreto formam um conjunto muito alto. Um veículo que o atinja pode quebrá-lo com sucesso e ficar preso no pedestal;

Figura 27 – Suporte com base quebrável muito alta

- As características do tipo de quebra são importantes. Suportes que quebram em uma única direção não podem ser usados em interseções, em que podem ser atingidos por veículos com direções diferentes;
- Suportes quebráveis não devem ser localizados onde possam impedir a atuação correta de outras medidas de segurança. Por exemplo, não se deve colocar um suporte quebrável em um talude de 1V:3H ou 1V:4H, se houver alternativas melhores. A estabilidade de um veículo desgovernado nesses taludes é pequena. Um choque com um dispositivo quebrável pode ser suficiente para desestabilizá-lo.

Na maioria dos casos, postes de iluminação devem ter sistemas semelhantes aos usados para sinais de tráfego. No entanto, é mais adequado não usar suportes quebráveis onde houver a possibilidade de que pedestres sejam atingidos pelo poste ou pelo veículo desgovernado. Postes de iluminação, localizados em canteiros centrais estreitos, podem cair em faixas do tráfego oposto, quando atingidos, e por essa razão não devem ser de tipo quebrável.

5.2.5. Postes de utilidade pública

Colisões com postes de sustentação de dispositivos de utilidade pública estão entre os acidentes mais frequentes e graves, envolvendo um objeto feito pelo homem. Pesquisas revelam que cerca de 50% dos acidentes ocorrem dentro da faixa de 1,20 m da borda da pista de rolamento. Em rodovias rurais norte-americanas, a distância média dos postes de utilidade pública à pista de rolamento é de 3,60 m, e a distância média dos postes que sofrem colisão é de 2,60 m. Nessas rodovias a densidade média de

postes em locais de ocorrência de acidentes é da ordem de 35 postes/km, enquanto que a densidade média geral de postes é de 14 postes/km.

Há mais colisões com postes situados do lado externo de curvas horizontais, dentro da distância de 15 m das interseções, e em rodovias sem acostamentos. A frequência dos acidentes diminui com o aumento da largura dos acostamentos. Cerca de 25% dos acidentes envolvendo postes ocorrem a menos de 15 m de uma interseção.

Há diversas recomendações com relação ao posicionamento de postes de sustentação de dispositivos de utilidade pública dentro da faixa de domínio da rodovia:

- Os postes devem ser situados fora da área marginal de segurança;
- Sempre que possível, os postes devem ser colocados na borda da faixa de domínio;
- Onde não há uma zona marginal de segurança e não há condições de implantá-la, os postes devem ser colocados pelo menos a 3 m de distância da pista de rolamento;
- Desejavelmente, os postes devem ser colocados em um único lado da rodovia;
- Postes comuns devem ser usados para transporte de energia, linhas telefônicas e outros tipos de serviços de utilidade pública.

Se possível, não devem ser colocados postes em valas de drenagem, do lado externo de curvas horizontais, em canteiros centrais, e nas esquinas das interseções, porque aumentam a frequência e gravidade das colisões. Essas observações, aparentemente óbvias, são frequentemente esquecidas na prática.

O uso de postes quebráveis é uma maneira de reduzir a gravidade de uma colisão, mas não a sua frequência. A quebra dos postes com o impacto impede a parada súbita dos veículos e reduz a gravidade dos acidentes. Embora não haja ainda comprovação efetiva na prática, postes quebráveis devem ser considerados, sempre que possível. Informações mais detalhadas podem ser obtidas na publicação: *Selection of Cost-Effective Countermeasures for Utility Pole Accidents–Users Manual* – FHWA – 1986.

5.3. CONTROLE DE ACESSOS

A regulamentação dos acessos entre propriedades marginais e rodovias é definida como controle de acessos. Seu objetivo principal é o aumento da segurança, pelo controle dos locais onde os veículos podem entrar, sair ou atravessar uma rodovia.

O controle dos locais de acesso melhora as condições da operação do tráfego. Acessos devem ser adequadamente projetados em locais escolhidos para melhor atender às necessidades dos usuários, interferindo o mínimo no tráfego direto da rodovia.

A regulamentação deve considerar as finalidades das propriedades atendidas por esses acessos, os volumes e tipos do tráfego que os utilizará, a localização e espaçamento dos locais permitidos ao longo da rodovia e as características geométricas da mesma. Devem ser considerados o uso atual e futuro de ocupação do solo marginal.

O Manual de Acesso de Propriedades Marginais a Rodovias Federais – DNIT – 2006 apresenta as condições em que podem ser concedidos acessos a rodovias federais, incluindo projetos-tipo recomendados. Os diversos estados dispõem de regulamentação própria ou adotam as recomendações do DNIT.

5.3.1. Aberturas do canteiro central

Em rodovias de múltiplas faixas dotadas de canteiro central, sem controle de acessos, interrupções do canteiro central não são necessárias nem desejáveis para cada interseção ou acesso lateral. No entanto, aberturas podem ser necessárias para atender ao desenvolvimento local, e sua localização adequada minimiza a pressão por outras aberturas. Cada caso deve ser analisado pelo órgão rodoviário responsável.

Uma condição básica para analisar uma solicitação de abertura de canteiro para efetuar retornos é que o canteiro tenha largura suficiente para acomodar a manobra de giro do veículo de projeto, sem interferir com o tráfego direto.

5.3.2. Acessos às propriedades marginais

Os projetos dos acessos às propriedades marginais devem atender às exigências dos órgãos responsáveis. Cabem, entretanto, algumas recomendações:

- Devem ser localizados em pontos com suficiente distância de visibilidade ao longo da rodovia;
- Deve-se evitar sua localização em curvas horizontais de pequeno raio ou próxima ao vértice de uma curva vertical convexa;

– Devem, de preferência, interceptar a rodovia em ângulo reto. Se apenas forem permitidos giros à direita, o ângulo pode ser reduzido até a 45°;
– Seus greides devem prover drenagem adequada;
– Seus taludes laterais devem ser projetados, de modo que sejam transponíveis por veículos que saiam inadvertidamente da rodovia;
– Devem ser dimensionados para atender à demanda e ao tipo de tráfego previstos.

Além do Manual de Acesso de Propriedades Marginais a Rodovias Federais, já citado, orientações complementares quanto aos critérios e controles de projeto podem ser obtidas através das seguintes publicações: *General Framework for Implementing Access Control Techniques* – FHWA – 1975; *Detailed Description of Access Control Techniques* – FHWA – 1975 e *Guidelines for Driveway Design and Location* – ITE – 1987.

5.4. INTERSEÇÕES

Estudos indicam que as interseções são responsáveis por cerca da terça parte dos acidentes em rodovias rurais e da sexta parte das mortes, devendo, portanto, merecer uma atenção especial dos planejadores e projetistas.

Melhoramentos de interseções geralmente têm como objetivos a redução de conflitos de veículos e de pedestres e o aumento da capacidade. O aumento da demanda em muitas das rodovias rurais tem tornado cada vez mais comum a necessidade de melhoramentos. A eventual substituição de uma interseção existente por uma rótula moderna, em que se dá preferência ao tráfego da rotatória, tem sido considerada, por questões de segurança e capacidade. Os melhoramentos incluem modificações nas aproximações das vias, nos elementos geométricos, nas condições de operação do tráfego e em obras complementares, como dispositivos de drenagem transponíveis. Esses elementos são inter-relacionados e as mudanças em um deles podem afetar os demais. O acréscimo de uma faixa de giro, por exemplo, não deve afetar negativamente outras condições da interseção.

5.4.1. Elementos de projeto

a) Faixas de giro

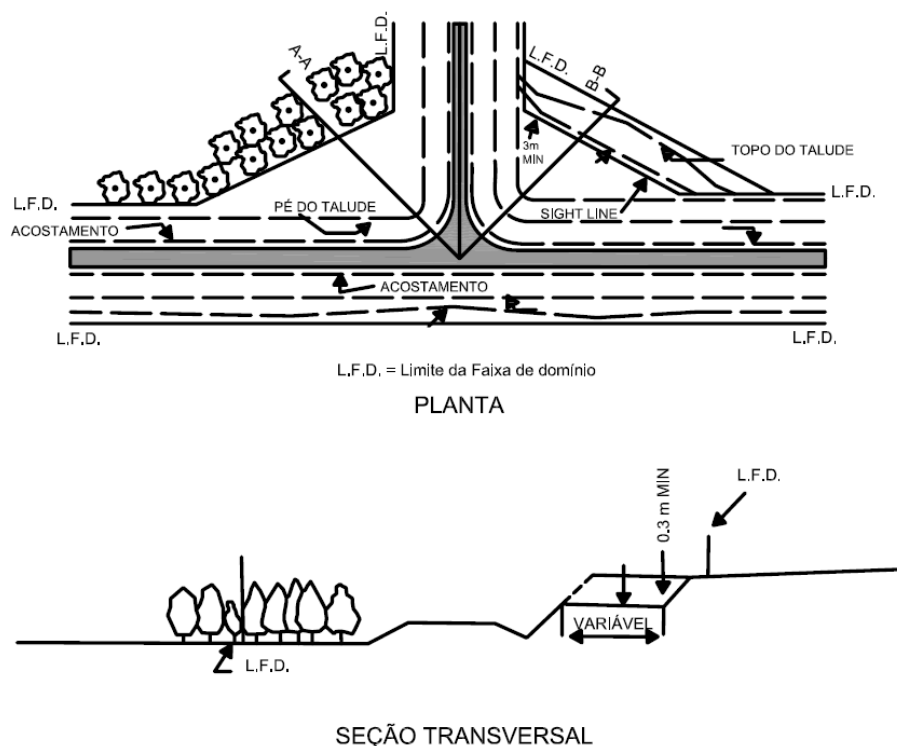
A inclusão de faixas específicas, para atender a giros à esquerda ou à direita de interseções de rodovias rurais, tem resultado em benefícios para a segurança. O Manual de Projeto de Interseções – DNIT – 2005 contém orientação para o projeto de giros à esquerda, incluindo a determinação de

faixas de mudança de velocidade e respectivos *tapers*. Cabe observar que os giros à direita também podem apresentar problemas próprios, que devem ser considerados em cada caso.

b) Distâncias de visibilidade.

Em interseções não controladas por sinais ou semáforos, as distâncias de visibilidade devem ser suficientes para que um motorista de cada aproximação possa ver os veículos das demais aproximações. Orientação para determinação das distâncias de visibilidade necessárias para os diversos tipos de controle, com exceção de semáforos, consta do Manual do DNIT citado anteriormente.

Obstáculos que possam criar restrições à visibilidade devem ser removidos. Vegetação, como árvores, arbustos ou capim alto, pode interferir com a linha de visão, sendo necessário seu acompanhamento por inspeção periódica. Além disso, a sinalização deve ser colocada, de modo que não crie obstruções às linhas de visão dos motoristas das aproximações principais e secundárias. Quando uma parte da interseção se situa em um corte, é necessário verificar a necessidade de que as diversas linhas de visão não sejam interrompidas pelos taludes de corte, remanescentes. A Figura 28 apresenta um exemplo de providências a tomar no projeto.

Figura 28 – Providências a tomar para prover visibilidade nas interseções

5.4.2. Aspectos operacionais

A segurança e a eficiência operacional de uma rodovia rural são substancialmente dependentes do projeto, condições de operação e qualidade da manutenção das interseções e locais de acesso. Pode-se estimar que, aproximadamente, a metade dos acidentes em rodovias rurais ocorre em interseções, em acessos a propriedades marginais e nas suas proximidades. Com o desenvolvimento das regiões atravessadas, as interseções e principais pontos de acesso são geralmente as primeiras áreas a ficarem congestionadas e necessitarem de melhorias. Melhorias das condições de operação podem aumentar a segurança, por exemplo, quando uma faixa de giro é acrescentada a uma interseção não controlada por semáforos. Esse tipo de melhoria permite abrigar fora das faixas de fluxo direto os veículos aguardando oportunidade de efetuar a manobra de giro desejada, reduzindo a possibilidade de certos tipos de acidentes. Os motoristas que giram à esquerda não têm que esperar a oportunidade de efetuar suas manobras, parados na pista de tráfego direto. É necessário, contudo, analisar detalhadamente seu efeito na rodovia, para evitar que se trate de uma melhoria passageira.

a) Dispositivos de controle de tráfego

Setas, símbolos, e linhas pintadas no pavimento, de acordo com o Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT, ajudam o motorista a passar em segurança através da interseção.

Sinais são dispositivos de controle de tráfego eficientes nas interseções. Um sinal avançado, com orientação dos destinos a atingir, pode evitar manobras súbitas que resultem em acidentes.

Interseções em rodovias rurais de alta velocidade podem ir contra as expectativas dos motoristas, principalmente quando são longas as distâncias entre elas. Motoristas que acabam de percorrer uma grande extensão em alta velocidade não esperam ter que parar, nem antecipam a entrada de tráfego de uma interseção que se aproxima. Nesses locais devem ser tomadas medidas que chamem a atenção dos motoristas para aumentar a segurança. Sinais de advertência "*Cruzamento de Vias*" providos de flashes intermitentes e sonorizadores podem alertar aos motoristas o fato de que estão se aproximando de um cruzamento inesperado em nível, tais como:

- De difícil identificação à distância;
- Controlado por semáforos;
- Primeiro após um longo trecho;
- Vindo logo após uma curva;
- Escondido por vegetação ou obstáculo lateral.

Estudos sobre as necessidades dos motoristas, em muitas aproximações de rodovias controladas pelo sinal de "*Parada Obrigatória*", enfatizam a necessidade de ter essa informação com antecedência. Distância de visibilidade adequada deve ser provida para os sinais de parada obrigatória, principalmente nas aproximações com velocidades elevadas. Se a distância de visibilidade necessária não puder ser provida, por questões de geometria ou obstáculos laterais, torna-se, então, indispensável o sinal: "*Parada Obrigatória à Frente*".

Sinais de parada de tamanho maior que o regular, flashes intermitentes no sinal de advertência de parada à frente, flashes vermelhos intermitentes no sinal de parada obrigatória ou suspensos sobre a pista devem ser considerados. Os sinais suspensos são mais eficientes, quando usados em interseções com geometria deficiente, onde condições econômicas não permitem reconstrução.

b) Iluminação

Estudos comprovam que a iluminação é uma forma de reduzir acidentes noturnos em interseções rurais. Pesquisas revelam que, se o índice de acidentes noturnos em uma interseção exceder o triplo do índice durante o dia, os prováveis benefícios econômicos justificam sua iluminação.

5.5. PONTES E VIADUTOS EXISTENTES

5.5.1. Identificação e análise de projetos inadequados

Embora não sejam sempre economicamente vantajosos, pontes e viadutos antigos, abaixo dos padrões aceitáveis de segurança, podem ser recuperados. Quando se situam dentro dos limites de um trecho incluído em um programa de melhoramentos, devem ser objeto das seguintes análises:

- Adequação de sua estrutura;
- Adequação dos elementos de proteção lateral;
- Alinhamento dos acessos à estrutura e de suas condições de segurança;
- Acomodação de pedestres e ciclistas.

A adequação da estrutura se refere à sua capacidade de carga. O programa de inspeção provê essa informação. Qualquer estrutura que apresente limitações quanto à sua capacidade de carga deve ter essas limitações indicadas em sinalização na própria estrutura e em interseções da rodovia, onde veículos pesados podem ser desviados para rotas alternativas.

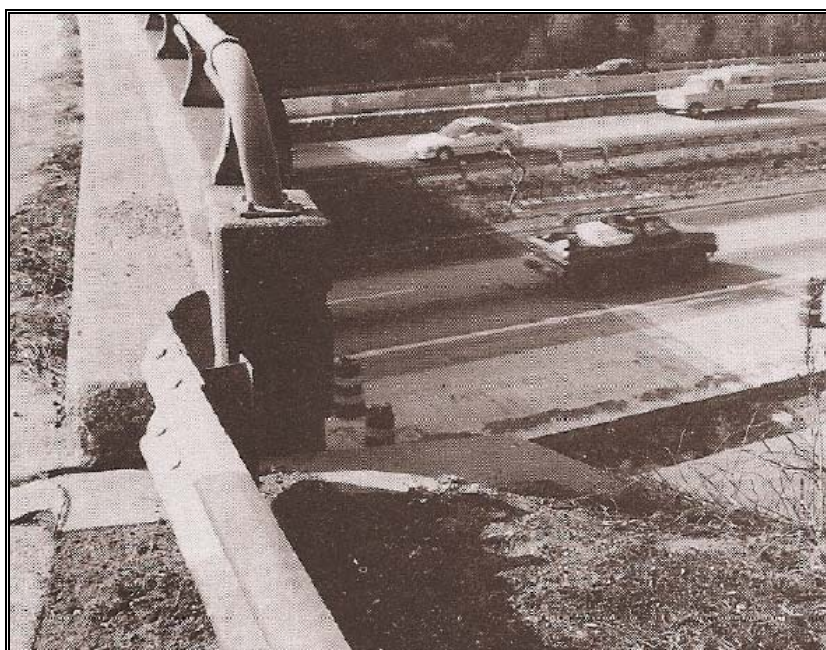
A adequação estrutural do sistema de proteção lateral é determinada pela capacidade de suportar um impacto sem ser ultrapassado. Os sistemas novos são submetidos a testes de impacto. A determinação da adequação de um antigo sistema de guarda-corpo existente pode ser difícil, se não se dispõe de seu projeto e especificações do aço empregado em seu reforço. Deformações, deterioração, separações de

seus elementos e distorções visíveis são fortes indicações de que não são adequados. O projetista tem que concluir se a estrutura é capaz de resistir a um impacto e que tipo de reparos é necessário. Quando o sistema se revelar inadequado, uma solução pode ser a montagem de barreiras de concreto laterais.

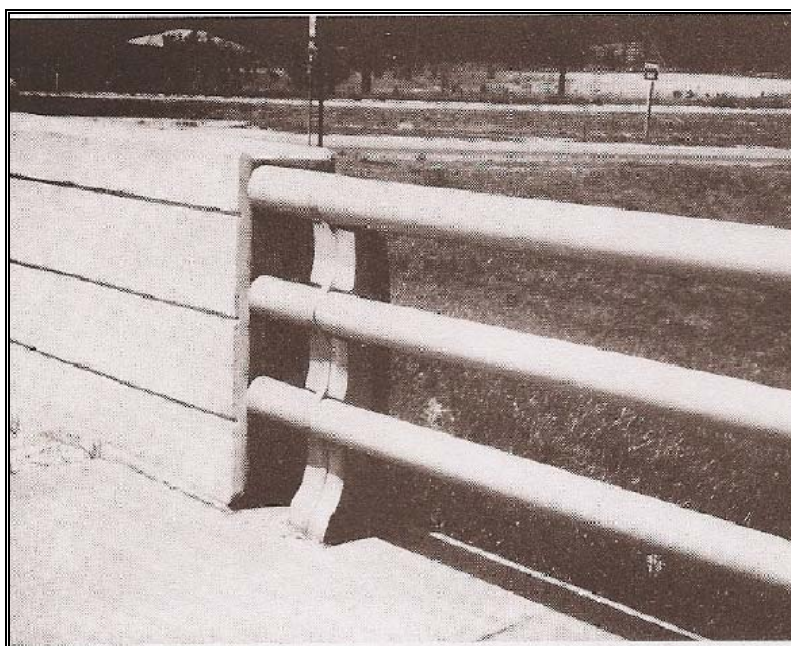
A seguir são apresentadas algumas condições que podem resultar em funcionamento inadequado dos elementos de proteção lateral e que devem ser abolidas:

a) Passeios laterais elevados

Podem levar ao capotamento de um veículo que atinja o passeio (Figura 29).

Figura 29 – Passeio lateral elevado

b) Aberturas no sistema de proteção lateral

Sistemas que não são compactos podem não ser suficientemente fortes para resistir a um impacto. Pode ocorrer de o veículo ficar preso ou ser penetrado por parte do dispositivo metálico que não foi defletido (Figura 30).

Figura 30 – Projeto inadequado de guarda-corpo

c) Transição inadequada do acesso aos guarda-corpos. Essa situação inclui os seguintes casos:

- As defensas nas aproximações das pontes ou viadutos não são conectadas adequadamente ao guarda-corpo ou à estrutura, permitindo que um veículo atinja o próprio guarda-corpo;
- As defensas, embora conectadas com o guarda-corpo, não impedem que uma roda de um veículo penetre sob um elemento da defensa e fique presa a uma coluna ou trilho de sua sustentação;
- A transição não é suficientemente sólida nem resistente, de modo a impedir que um veículo que a atinja a ultrapasse e bata no guarda-corpo, ou fique preso na própria defensa.

A transição entre as defensas metálicas da rodovia e as barreiras rígidas de concreto das obras-de-arte especiais deve ser feita sem solução de continuidade e sem superfícies salientes, conforme detalhes apresentados no Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais – DNER – 1996.

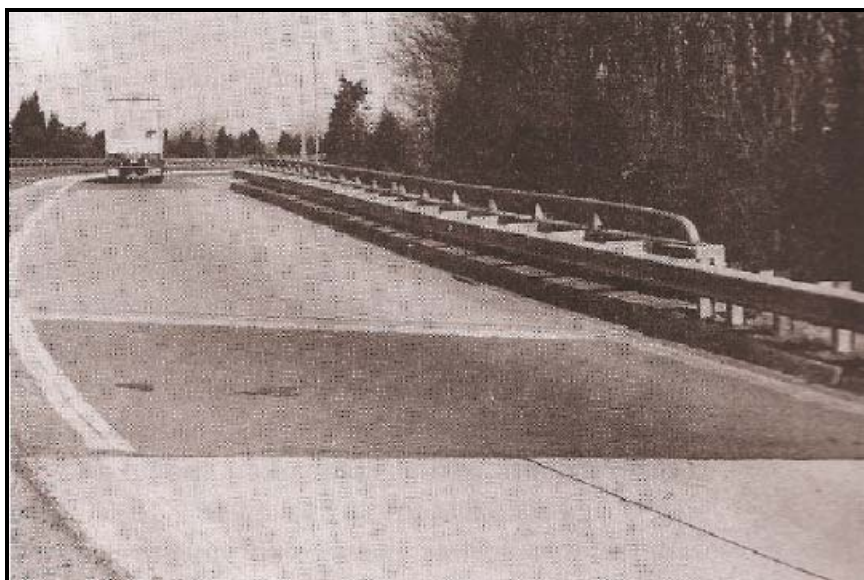
5.5.2. Melhoramentos do sistema de proteção lateral e das aproximações

Embora não seja possível reconstruir ou substituir todas as pontes e viadutos com características inferiores aos padrões aceitáveis de projeto, é possível obter maior segurança nas próprias estruturas e nas suas aproximações. As necessidades de melhorias na segurança podem ser reveladas por informações disponíveis sobre acidentes, pelo exame visual das diversas estruturas e das características de suas aproximações, por restos de eventuais veículos danificados e através de registros efetuados pela equipe de manutenção.

Há três meios básicos de melhorar a segurança que podem ser considerados separadamente ou em conjunto:

- Efetuar uma reforma efetiva para colocar a estrutura e seus acessos dentro das condições técnicas adequadas;
- Efetuar melhorias provisórias das deficiências existentes até surgir a oportunidade de realizar as obras necessárias;
- Concentrar as atenções em medidas que permitam reduzir acidentes sérios.

Medidas provisórias de segurança podem não atender aos padrões exigidos, mas elevam, de forma substancial, suas condições. Um dos métodos mais comuns adotados é a construção de uma defensa junto à borda da pista de rolamento, isolando o passeio de pedestres e impedindo que algum veículo atinja o guarda-corpo. Veja a Figura 31, em que a defensa já é instalada na aproximação da estrutura, garantindo maior continuidade do elemento protetor.

Figura 31 – Defensa contínua junto ao guarda-corpo

Algumas medidas que podem ser consideradas são:

- Inclusão de sinais complementares e marcas no pavimento, alertando quanto aos eventuais perigos;
- Delineamento, de forma bem visível, da aproximação da ponte ou viaduto;
- Iluminação das aproximações;
- Adoção de defensas ou barreiras apropriadas;

- Remoção de obstáculos das aproximações das estruturas, principalmente nas partes externas das curvas;
- Remoção de quaisquer elementos que criem obstáculos no campo de visão das estruturas, com especial atenção aos acessos e interseções próximos aos seus extremos;
- Melhorias das declividades transversais nos extremos da estrutura, para garantir melhor drenagem;
- Melhoria do coeficiente de atrito do pavimento;
- Melhorias do alinhamento dos acessos à estrutura e de eventuais interseções e acessos próximos.

Algumas situações que podem necessitar de consideração especial na fase de projeto são as seguintes:

- Estruturas suportadas por treliças;
- Pontes e viadutos em que os guarda-corpos têm função estrutural;
- Estruturas muito próximas de uma interseção, com baixo volume de tráfego, de uma rodovia com tráfego lento ou de um acesso a propriedades marginais.

Devido ao fato de que muitas pontes ou viadutos mais antigos foram construídos com estruturas de sustentação formadas por treliças, uma obra pode ruir, se um elemento crítico dessas estruturas sofrer dano sério. Por essa razão, esses elementos críticos devem ser protegidos de impactos de veículos desgovernados. Nas obras modernas as estruturas de sustentação desse tipo são protegidas do tráfego por barreiras rígidas. Nas obras existentes, quando elementos críticos estiverem expostos, um sistema de barreira, de preferência contínuo, deve ser usado para sua proteção.

Algumas pontes e viadutos antigos são formados por placas com guarda-corpos, que também participavam de sua estrutura. Nesses casos, os guarda-corpos são geralmente muito largos, por serem reforçados, para que possam cumprir sua função estrutural. Por essa razão, sua remoção pode resultar em colapso da obra ou redução de sua capacidade de carga. Em tais casos, pode ser indicado, como medida preliminar, melhorar as características dos guarda-corpos.

Quando interseções ou acessos estão próximos das pontes e viadutos, frequentemente é difícil proteger adequadamente os guarda-corpos. A solução desejável é eliminar ou remanejar a interseção. Se isso não for possível, tem-se que impedir que veículos desgovernados atinjam a estrutura. Pesquisas foram conduzidas para atender a esse problema. A publicação *Curved W-Beam Guardrail*

Installations at Minor Roadway Intersections – FHWA – 1992 inclui detalhes de projetos, bem como instruções e especificações sobre a aplicação de defensas nesses locais.

5.5.3. Pontes e viadutos estreitos

Embora a adequação estrutural constitua certamente um fator principal e indiscutível ao estabelecer as prioridades para um programa de melhoramentos nas pontes e viadutos, todos os órgãos rodoviários e de transporte devem também levar em consideração os que forem demasiadamente estreitos. As pontes e viadutos estreitos representam uma descontinuidade no ambiente da estrada e têm características inferiores aos padrões aceitáveis de operação segura, exigindo, assim, a atenção dos engenheiros.

Nessa classificação são incluídas todas as estruturas com estreitamento, decorrentes da supressão ou redução substancial da largura do acostamento ou cuja largura da pista de rolamento seja inferior à da via. O *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (MUTCD) – FHWA estende um pouco este conceito e indica que o sinal de advertência de ponte estreita deve ser utilizado também em pontes, cuja pista tenha largura de 4,90 a 5,50 m, para atender aos dois sentidos de tráfego.

A substituição e o alargamento de todas essas estruturas deixam de ser viáveis, em virtude dos fundos disponíveis. Os órgãos rodoviários devem inventariar as pontes estreitas dentro de sua jurisdição e desenvolver uma série de prioridades para programar os melhoramentos. As necessidades de cada locação devem ser analisadas separadamente, a fim de selecionar soluções eficientes, em termos de custo. As ações corretivas podem variar, desde a completa substituição da estrutura até a sua conversão para operar no regime de mão única. A relação a seguir compreende certo número de medidas que devem ser consideradas independentemente para cada local:

- Reconstruir a obra-de-arte especial;
- Alargar a obra-de-arte especial;
- Reforçar a sinalização, através de sinais antecipados de advertência;
- Melhorar a distância de visibilidade;
- Estabelecer uma zona de não ultrapassagem;
- Estabelecer marcações no pavimento;
- Instalar uma iluminação adequada;
- Instalar luzes pisca-pisca;

– Promover a operação de mão única, através do controle por semáforos.

Deve-se observar que a ocorrência súbita de um obstáculo junto à pista de rolamento viola as expectativas dos motoristas. O motorista espera que a via apresente uma seção transversal constante. A segurança rodoviária pode ser consideravelmente melhorada pela simples reestruturação das expectativas do motorista, de tal forma que ele esteja preparado para o estreitamento da pista. Se a informação for adequada, geralmente o motorista pode passar com segurança através de uma situação inesperada. A utilização das informações necessárias e dos dispositivos uniformes de controle do tráfego, baseada nas características do local, constitui uma maneira apropriada para reestruturar as suas expectativas.

A sinalização deve obedecer ao disposto no Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT e estar em consonância com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN – 2007. A sinalização deve ser complementada com marcas no pavimento, delineadores e marcadores de obstáculo nas cabeceiras das pontes. Quando for possível, a largura da pista deve variar gradualmente nas aproximações das pontes e viadutos, como indicado na Figura 32.

Figura 32 – Comprimento do taper de transição nas aproximações de pontes e viadutos estreitos

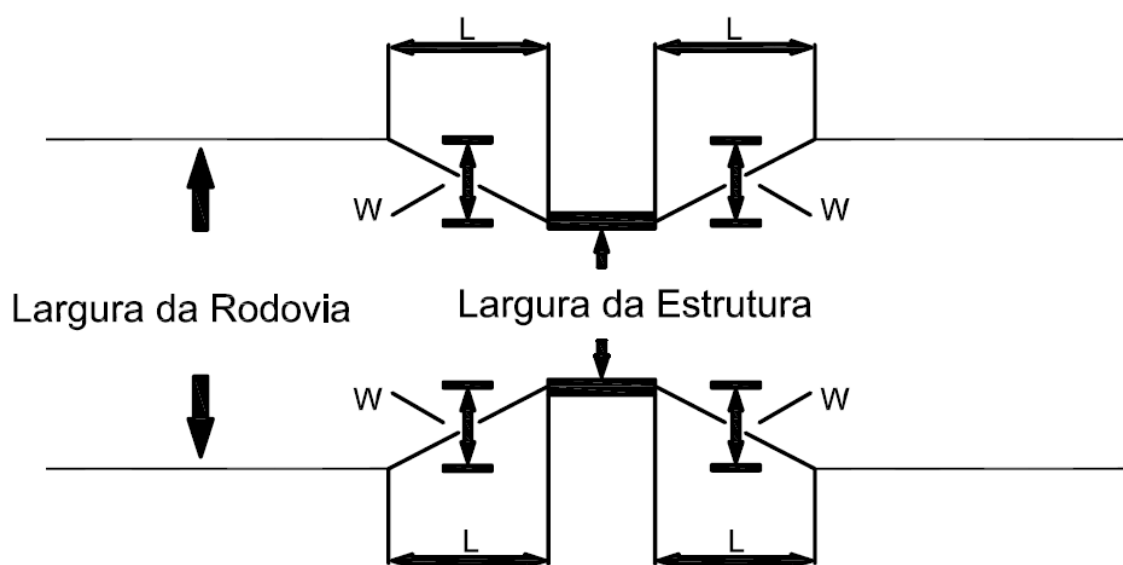



Tabela 2 – Comprimento do taper de transição

Redução da largura da pista W (m)	Velocidade de aproximação		
	Menor que 50 km/h	50-60 km/h	Maior que 60 km/h
0,6 ou menor	9	15	30
1,0	14	23	46
1,2	18	30	61
1,5	23	38	76
1,8	27	46	92

Fonte: Handbook of Traffic Control Practices for Low Volume Rural Roads – 1981

Informações adicionais sobre o assunto constam da publicação Manual de Pontes Estreitas – DENATRAN/DNER/COPPE – 1979, que apresenta orientação para melhorar as condições de segurança do tráfego e do nível de serviço das vias, nos pontos críticos caracterizados pela existência de estruturas estreitas.

5.6. OUTROS CONTROLES DE PROJETO

5.6.1. Travessias de nível rodoferroviárias

A natureza grave dos acidentes nas passagens de nível rodoferroviárias torna necessário que seja dada uma atenção especial a esses locais. Embora tais acidentes constituam "eventos raros", estatisticamente falando, a natureza catastrófica das colisões entre trens ferroviários e veículos motorizados focaliza a atenção pública sobre tais acidentes e gera, consequentemente, a necessidade de uma resposta, por parte das autoridades públicas.

Os melhoramentos possíveis nas passagens de nível rodoferroviárias variam desde a instalação antecipada de melhor sinalização de advertência e de "Cruzes de Santo André" refletorizadas, até a separação completa dos greides. A separação dos greides, embora onerosa, oferece a solução mais segura, mas só se torna possível quando for exigido como um elemento das normas de projeto do sistema rodoviário, ou quando os volumes de veículos rodoviários/trens forem extremamente elevados.

Todas as travessias de nível devem apresentar uma "Cruz de Santo André" refletorizada em cada um dos acessos rodoviários, suplementada por sinais antecipados de advertência e, na maioria das travessias, por marcações no pavimento. Nas passagens com elevados volumes de tráfego rodoferroviário, ou nos locais onde outras condições obriguem aos gastos decorrentes, devem ser instalados dispositivos de advertência acionados pelo trem (sinais luminosos pisca-pisca). Os estudos têm mostrado que, entre os dispositivos de advertência nas travessias de nível, as luzes pisca-pisca

conjugadas com cancelas são as mais eficazes. Onde forem recomendadas as luzes pisca-pisca, o emprego das cancelas deve ser sempre levado em consideração, uma vez que o custo adicional de instalar as cancelas é relativamente pequeno e o benefício de segurança é significativo. Isso é especialmente verdadeiro nas travessias onde os volumes e/ou as velocidades forem elevadas, as distâncias de visibilidade forem restritas ou onde existam outras características marcantes de perigo. As cancelas devem ser sempre instaladas nas travessias múltiplas de linhas de trem, onde o trem que estiver atingindo a travessia num sentido possa vir a obstruir a visão do motorista de um outro trem que venha se aproximando no outro sentido.

Existe um alto grau de potencialidade para reduzir os acidentes veículo/trem, através do aperfeiçoamento dos dispositivos existentes de advertência atuados pelo trem. Nas novas instalações ou no aperfeiçoamento dos dispositivos existentes nas travessias onde as velocidades do trem variam, é da maior importância dispor de um circuito adequado para linha que possa utilizar detectores de movimento ou outros dispositivos semelhantes, que assegurem uma uniformidade razoável quanto à antecipação do intervalo de tempo de advertência, antes da chegada do trem. Caso as luzes pisca-pisca ou as cancelas automáticas sejam acionadas muito antes da chegada do trem, cria-se um desrespeito à sua mensagem de advertência, e a sua eficácia é, consequentemente, diminuída.

A segurança nas travessias de nível pode ser também intensificada através de melhoramentos das distâncias de visibilidade, dos alinhamentos vertical e horizontal, da iluminação nas travessias utilizadas por trens vagarosos e de melhoramentos na travessia, com vistas a oferecer uma boa superfície para dirigir os veículos, além de uma seção transversal completa, inclusive com acostamentos. Faixas auxiliares, para eventual utilização por veículos que tenham que parar nas travessias de nível, podem vir a ser úteis.

Um programa sistemático para a instalação de sistemas modernos e ativos de advertência deve constituir parte de um programa de segurança. Com a finalidade de assegurar o máximo de benefícios, o programa deve ser estabelecido segundo uma escala de prioridades, de tal forma que as travessias apresentando um potencial mais elevado de acidentes sejam tratadas em primeiro lugar. Devido ao fato de que os acidentes reais que ocorrem numa determinada travessia são, em geral, pouco frequentes, certas prioridades devem ser estabelecidas quanto aos fatores que contribuem para os acidentes, a saber: volumes, velocidade, visibilidade etc., ao invés do número de acidentes propriamente ditos.

A sinalização desses cruzamentos deve ser feita de acordo com o Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT, em sua versão mais recente, e em consonância com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN – 2007.

Informações mais detalhadas sobre projetos de cruzamentos rodoferroviários podem ser encontradas no Manual de Projeto de Interseções – DNIT – 2005 e na publicação *Geometric Design Criteria for Highway-Rail Intersections (Grade Crossings)* – ITE – 2001.

5.6.2. Pavimentos antiderrapantes

As velocidades de operação dos veículos têm aumentado gradativamente no decorrer dos anos. Devido a esse aumento e ao crescimento na quantidade e potência dos veículos, os acidentes ocasionados por derrapagem têm-se tornado uma das maiores preocupações dos técnicos que lidam com a segurança rodoviária. Não basta dizer que o motorista envolvido num acidente por derrapagem estava "dirigindo com excesso de velocidade para as condições da estrada" ou que o acidente foi ocasionado por "erro do motorista". Deve, também, ser verificado se o leito da estrada oferecia tudo aquilo que se poderia razoavelmente esperar nas condições existentes. Além da simples presença da umidade, existem, nas derrapagens, inúmeros outros elementos, a saber: a corrugação dos pneus e sua pressão, a suspensão dos veículos, as ações do motorista, o estado dos freios, o traçado geométrico da estrada, a sinalização, bem como as características e condições da superfície pavimentada. O engenheiro rodoviário é o responsável pelos elementos relacionados com a rodovia, devendo estar, pois, consciente de que maneira pode ajudar na redução dos acidentes por derrapagem.

Embora os elementos do projeto relacionados com o alinhamento, a drenagem, o greide, a superelevação e a seção transversal possam vir a contribuir na prevenção dos acidentes por derrapagem, um pavimento antiderrapante é, sem dúvida, o elemento chave para aquele fim. Um pavimento desenvolve as suas propriedades antiderrapantes em função da textura da superfície que oferece, a qual pode ser classificada como microtextura ou macrotextura. A microtextura contribui basicamente através do coeficiente de atrito com os pneus; a macrotextura contribui, de algum modo, para o atrito, porém, especialmente, através da prevenção que ofereça à formação de um lençol de água que conduza ao fenômeno do deslizamento hidráulico ("aquaplanagem").

Dentro dos limites atuais da velocidade de operação, a maioria dos pavimentos secos oferece uma resistência adequada às derrapagens. Contudo, quando o pavimento se apresenta molhado, a interação que se desenvolve entre os pneus, a superfície pavimentada e a água exigem que seja dada especial atenção ao desenvolvimento de uma resistência adequada do pavimento molhado à derrapagem. As quatro principais causas de uma fraca resistência à derrapagem, por parte dos pavimentos molhados, são:

a) Pavimento gasto ou polido

O tráfego que passa sobre uma superfície pavimentada provoca um desgaste na superfície inicial ou ocasiona uma ação de polimento dos agregados expostos. O problema tem aumentado, em decorrência dos grandes volumes de tráfego, das altas velocidades e das cargas pesadas, às quais estão agora expostos os pavimentos. A resistência a essa ação de polimento varia grandemente, de acordo com os agregados.

b) Exsudação dos pavimentos betuminosos

Quando é empregado asfalto em excesso ou de graduação errada, o asfalto aflora à superfície do pavimento, devido à ação do tráfego ou de temperatura elevados.

c) Formação de uma película de água entre os pneus e a superfície pavimentada

Isso pode ser ocasionado por uma drenagem imprópria entre a superfície e os pneus, resultante da falta de uma textura de superfície, de seção transversal imprópria (falta de coroamento, sulcos deixados pelas rodas etc.) e/ou corrugação inadequada dos pneus. A formação da película de água apresenta pouco efeito, a velocidades baixas. Contudo, à medida que a velocidade aumenta, a película de água reduz o contato entre os pneus e o pavimento, resultando numa diminuição na resistência à derrapagem e a uma possível aquaplanagem.

d) Pavimentos sujos

As primeiras chuvas que ocorrem após uma seca prolongada podem combinar a poeira, o derramamento ocasional de óleo e de outros materiais sobre a superfície da estrada, formando assim uma camada escorregadia sobre o pavimento. Esse efeito diminui, entretanto, à medida que aumenta a precipitação da chuva e a superfície do pavimento é lavada.

Para contrabalançar ou evitar uma fraca resistência à derrapagem, os pavimentos devem ser construídos ou restaurados, de forma tal que suas superfícies apresentem um alto fator de atrito entre o pavimento e os pneus, um número suficiente de vazios na superfície, para evitar a formação da lâmina de água entre o pavimento molhado e os pneus, assim como a durabilidade suficiente para reter essas qualidades.Esses objetivos só podem ser alcançados através de um programa que exija alta qualidade de resistência à derrapagem nos pavimentos, assim como a identificação e a reparação dos locais que oferecem baixa resistência à derrapagem e/ou altas taxas de acidentes por derrapagem.

Nas vias existentes onde se registra alta incidência de acidentes por derrapagem, uma investigação cuidadosa pode indicar a necessidade de introduzir melhoramentos na superelevação, drenagem, greides, seção transversal ou superfície pavimentada, a fim de assegurar os elementos da resistência à

derrapagem. Nos pavimentos em concreto, a abertura de sulcos longitudinais tem provado ser realmente efetiva em reduzir o potencial do deslizamento hidráulico. Embora possa haver ou não um acréscimo na resistência mensurável à derrapagem na direção longitudinal, a abertura dos sulcos oferece certa resistência à perda de direção do veículo provocada pela derrapagem lateral. Além da abertura de sulcos, as medidas corretivas a introduzir num pavimento de concreto são os recapeamentos, os quais podem consistir numa camada asfáltica de granulometria aberta ou numa capa selante, utilizando cascalhinho duro resistente à abrasão.

Nos pavimentos betuminosos, o método geralmente utilizado para melhorar a textura da superfície consiste nos recapeamentos. O recapeamento com camadas asfálticas de granulometria aberta é considerado bastante eficaz, devido às suas propriedades hidráulicas e de atrito.

Todos os locais acusando muitos acidentes, dos quais percentagem altamente desproporcional é constituída de acidentes com o pavimento molhado, devem ser reexaminados, com vistas ao traçado geométrico e a deficiências de sinalização, bem como às deficiências na resistência do pavimento à derrapagem. Muitas vezes, um recapeamento do pavimento, acompanhado por um aumento na superelevação, ao longo de uma curva, e/ou certas alterações na sinalização, tem um efeito duradouro na redução do número de acidentes.

5.6.3. Pedestres e ciclistas

A presença de pedestres e ciclistas em vias rurais é cada vez mais frequente. Isso requer que se projetem rodovias que prevejam a presença de ciclistas e/ou ciclovias paralelas que atendam à sua demanda. É necessário que se tenha um alto grau de segurança para os ciclistas e pedestres. São apresentados, a seguir, alguns princípios que devem ser seguidos nos projetos.

Fora de áreas próprias para recreio, passeios laterais não são comuns em áreas rurais. Acostamentos com revestimento primário de cascalho ou pedra britada, bem compactados, são frequentemente a solução adotada. Acostamentos nas pontes e viadutos, com a mesma largura das rodovias em que se encontram, são importantes para a segurança dos pedestres. A manutenção adequada da pintura delineadora das faixas destinadas ao tráfego dos ciclistas é essencial, principalmente à noite. Em trechos rurais próximos de áreas urbanas, o tráfego de pedestres deve ficar fisicamente separado, em passeios laterais, de preferência situados próximo aos limites da faixa de domínio.

Faixas destinadas ao tráfego de ciclistas (ciclofaixas), que não forem fisicamente separadas das pistas de rolamento, devem ser situadas entre o acostamento e a pista de rolamento adjacente. A ciclofaixa não deve ter menos de 1,20 m de largura. Onde os veículos motorizados tiverem velocidades acima de 80 km/h, a largura mínima da faixa de ciclistas deve ser de 1,50 m e as bicicletas devem trafegar

no mesmo sentido dos veículos motorizados da faixa adjacente. Pistas para tráfego de ciclistas, nos dois sentidos (ciclovias), devem ser sempre fisicamente separadas da pista de rolamento da rodovia por uma faixa de terreno, por um canteiro separador ou por um sistema de barreiras.

Onde as faixas para ciclistas forem adjacentes às faixas para veículos motorizados, sinais específicos para bicicletas devem ser usados, para impedir que os motoristas pensem que esses sinais se aplicam a eles. Deve-se, no entanto, usar o mínimo de sinais, para evitar confusão.

O Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas – DNIT – 2010 contém informações mais detalhadas sobre vias destinadas a bicicletas e pedestres. A publicação *Guide for the Development of Bicycle Facilities* – AASHTO – 1999, de onde foram retirados os princípios expostos, é recomendada como complementação.

5.6.4. Veículos lentos e de grandes dimensões

Estudos feitos para alertar os motoristas sobre a presença de veículos lentos trafegando à sua frente, geralmente grandes caminhões em greides elevados, conduziram aos seguintes resultados:

- Sinais de advertência com ou sem flashes luminosos ativados por caminhões lentos são pouco eficientes em uma situação perigosa. Embora tenham influência sensível para redução de velocidade nas suas proximidades, o efeito é de pouca duração. Os motoristas voltam à velocidade anterior, logo que concluem a ultrapassagem do veículo longo;
- Flashes instalados nos caminhões reduzem o potencial de colisões, quando são ultrapassados por veículos mais rápidos, tanto durante o dia como à noite.

Veículos de grandes dimensões, especialmente máquinas agrícolas, frequentemente enfrentam dificuldades para passar em pontes estreitas e com restrições de peso. Deve ser utilizada sinalização alertando sobre essas restrições nas pontes e nas suas aproximações, de conformidade com o disposto nos manuais de sinalização do DNIT e do CONTRAN.

5.6.5. Animais na rodovia

A ocorrência de animais domésticos ou selvagens na rodovia representa problema em várias regiões do País. Acidentes envolvendo animais de maior porte, como cavalos, bois, tamanduás ou veados podem causar grandes danos a veículos e ferimentos ou mesmo morte a seres humanos. A morte dos animais, além das perdas financeiras representadas pelos animais domésticos, representa a colocação em perigo das reservas de vida selvagem. Muitos deles são particularmente ativos à noite, agravando o problema. Animais que executam migrações contribuem, também, para o aumento do número de travessias e de acidentes.

As travessias devem ser cuidadosamente identificadas como locais perigosos e incluídas num programa de segurança a ser estabelecido. Os registros de acidentes constituem uma fonte importante para identificação das áreas de conflito. Coordenação com as agências governamentais é essencial para a identificação das concentrações de animais e seus padrões de comportamento. As placas de sinalização preconizadas pelo DNIT no Manual de Sinalização Rodoviária advertem sobre a eventual presença de animais em certos trechos da rodovia. Contudo, essa sinalização tem-se revelado pouco eficiente para resolver esse problema. A provisão de tempo adicional para ver os animais se aproximando da rodovia pode ser conseguida aumentando a distância de visibilidade e alargando as zonas existentes de visão livre. Assim, os motoristas verão mais cedo os animais e podem frear, para evitar colisões. Para atender ao deslocamento de algumas espécies migratórias, podem ser construídas estruturas especiais em locais de habituais cruzamentos.

6. VIAS URBANAS E SUBURBANAS

6. VIAS URBANAS E SUBURBANAS

Vias urbanas e suburbanas diferem das vias rurais em muitos aspectos. Apresentam maiores volumes de tráfego, menores velocidades, intenso desenvolvimento marginal, faixas de domínio restritas, interseções e acessos a propriedades mais próximas e maior variedade de usuários, incluindo veículos de transporte de passageiros, caminhões, ciclistas e pedestres. Todos esses fatores contribuem para influenciar o projeto e operação das rodovias nessas áreas.

Não existe uma delimitação clara entre vias urbanas e suburbanas, e uma rodovia suburbana não é reconhecida como um tipo funcional específico. O que é importante, do ponto de vista da segurança, é que muitas rodovias em áreas suburbanas foram projetadas originalmente como rodovias rurais e passaram a operar em condições urbanas.

As rodovias em áreas urbanas e suburbanas sofrem congestionamento crescente. As medidas tradicionais para aumentar a capacidade, como o acréscimo de faixas e a construção de novas rodovias e ruas são dificilmente aplicáveis, devido aos custos elevados de faixa de domínio e à natureza do uso do solo. Por essa razão, são procuradas técnicas operacionais que permitam aumentar a capacidade das vias existentes, incluindo estreitamento de faixas, para permitir a introdução de uma faixa adicional, inversão do sentido de algumas faixas nos períodos de pico, seleção de faixas para atender a veículos com elevado número de passageiros e veículos de uso coletivo, e uso de fases específicas, para giros à esquerda, em interseções semaforizadas. Em cada uma dessas soluções, a segurança pode sofrer redução, com o aumento de capacidade. A segurança pode, no entanto, aumentar para os ciclistas e pedestres, com o estreitamento de faixas, que resultam em menores velocidades (*traffic calming*).

As seções anteriores deste Manual tinham como foco principal vias expressas e vias arteriais rurais. Para esses tipos de rodovias, que se propõem atender a grandes volumes de tráfego, em longas distâncias, em altas velocidades, o objetivo principal das medidas de segurança é a proteção dos motoristas, pedestres e ciclistas das consequências de eventuais veículos desgovernados. Entretanto, as necessidades da segurança pública mudam com a finalidade da rodovia. Em vias urbanas e na maioria das vias suburbanas o objetivo principal é o atendimento dos serviços locais, e o poder público tem como interesse principal a proteção desses serviços e dos pedestres dos veículos motorizados. Para novas vias, deve ser adquirida suficiente faixa de domínio, para atender aos padrões de projeto desejados. Entretanto, na maioria dos projetos urbanos e suburbanos, a faixa de domínio é restrita, exigindo do engenheiro a procura das melhores condições com que o projeto possa atender aos objetivos operacionais. Nesses casos, os engenheiros responsáveis pelo projeto e pela operação do tráfego devem combinar esforços para conseguir-se um projeto econômico, eficiente e

seguro. O engenheiro projetista deve conhecer o valor das melhorias operacionais e o engenheiro operacional deve poder avaliar os impactos na segurança que têm a localização da via e os elementos de drenagem. É essencial que um esforço integrado de projeto seja aplicado ao sistema urbano e suburbano de vias. Esta seção fornece princípios e recomendações para os principais elementos de projeto e operação que possam ser aplicados, para conseguir um projeto seguro, eficiente e econômico, para as vias novas ou existentes.

6.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO

6.1.1. Velocidade de projeto

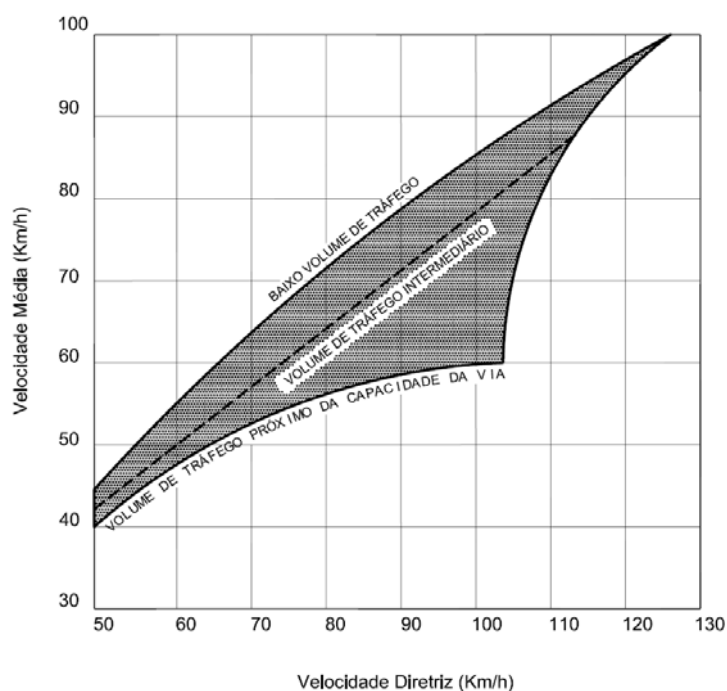
Na publicação *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* – AASHTO consta a seguinte observação: "Um projeto que atende às exigências da velocidade média de percurso para baixo volume de tráfego é adequado para o tráfego usando a rodovia, quando os volumes são maiores e as velocidades são menores". A Figura 33 mostra que, para volumes crescentes, as velocidades médias decrescem até ser atingida a capacidade. Por essa razão, os volumes baixos controlam certas características das rodovias, como as larguras das faixas de tráfego e dos acostamentos, curvas das interseções e faixas de mudança de velocidade. Acredita-se que isso permanece verdadeiro, no que se refere à determinação das medidas de segurança e seleção das características das vias urbanas e suburbanas.

Em rodovias urbanas e suburbanas, as velocidades de operação apresentam maior variação que as rodovias rurais para os diversos períodos do dia. Nos períodos de tráfego livre, principalmente tarde da noite, as velocidades são muito maiores que durante os períodos de grande fluxo de tráfego, frequentemente superando os limites de velocidade regulamentados. As velocidades elevadas resultam em acidentes mais graves, como indicado na Tabela 3, que apresenta as percentagens correspondentes a diversos níveis de gravidade de acidentes, em que veículos saem da pista nos períodos da manhã e da noite, nas vias arteriais principais e secundárias do estado americano de *Illinois*.

Tabela 3 – Percentagens de acidentes causados por veículos desgovernados que saem da pista em vias arteriais do Estado de *Illinois* – USA

Período (horas)	Apenas com danos materiais	Possibilidade de lesões e lesões que não implicam em incapacidade	Lesões que implicam em incapacidade e acidentes fatais	Total (%)
19:00 – 7:00	34,6	13,6	6,8	55,0
7:00 – 19:00	32,3	8,8	3,9	45,0
–	–	–	–	100,0

Durante o período das 19 às 7 horas, com menores volumes e maiores velocidades, há uma maior percentagem de acidentes com feridos e mortos do que na outra metade do dia. Embora outros fatores possam contribuir para essa maior percentagem, velocidades mais elevadas e maior variação entre as mesmas, nas condições de fluxo livre, são fatores significativos na sua formação. Como consequência, as características a serem adotadas nas áreas marginais da rodovia devem ser baseadas nas maiores velocidades de operação que possam ocorrer durante os períodos de fluxo livre. Isso significa que a velocidade de projeto a ser considerada para essas áreas pode ser maior que a utilizada para a própria rodovia.

Figura 33 – Relação entre as velocidades diretrizes e velocidades médias com o volume de tráfego

6.1.2. Acostamentos e meios-fios

Acostamentos são desejados em qualquer rodovia, incluídas as vias arteriais urbanas. Acostamentos adequadamente projetados disponibilizam áreas para veículos enguiçados ou acidentados, podem ser usados para o tráfego de bicicletas e fornecem área adicional para a manobra ou recuperação de veículos. Se suficientemente largos, podem também prover áreas para que os motoristas desacelerem e girem à direita com segurança em acessos com pouco volume. Em rodovias urbanas e suburbanas de alta velocidade são preferíveis acostamentos pavimentados, em toda a sua largura. Acostamentos devem ser considerados como parte da seção transversal final nas principais vias arteriais das áreas em desenvolvimento, onde as faixas de domínio puderem ser adquiridas a custos razoáveis, e também para ampliação ou melhorias de vias arteriais de alta velocidade, através de áreas suburbanas.

Fatores a serem considerados, na opção entre uma seção fechada (com meios-fios) e uma aberta (sem meios-fios e com acostamentos), incluem:

- Disponibilidade e custo da faixa de domínio necessária;
- Condições de desenvolvimento da área marginal;
- Necessidade de estacionamento na via;
- Necessidade de passeios laterais;
- Frequência de pontos de acesso;
- Considerações relativas à drenagem.

Dependendo da função a que se destinam, é selecionado um dos dois tipos de meios-fios: intransponível e transponível, para cada um dos quais existem diversos projetos. Meios-fios intransponíveis são relativamente altos, normalmente com 150 a 225 mm, projetados com faces verticais com a intenção de desencorajar os motoristas a sair deliberadamente da rodovia. Meios-fios transponíveis são mais baixos, com 150 mm ou menos, com superfícies inclinadas projetadas, de modo que os veículos possam atravessá-los sem sofrer danos. Meios-fios utilizados em rodovias com velocidades de projeto superiores a 70 km/h devem ser transponíveis.

Paralelamente aos aspectos positivos em atender a determinadas funções, os meios-fios (principalmente os intransponíveis) podem apresentar aspectos negativos, incluindo: perda do uso da área lateral em situações de emergência, retenção de água na pista de rolamento se o sistema de drenagem for inadequado, necessidade de barreiras para pedestres idosos ou com problemas de deslocamento e criação de restrições ao giro de veículos mais longos. Além disso, o que é mais importante, provocar o tombamento de veículos em colisões com os meios-fios. Testes de colisões

revelam que meios-fios mais altos que 100 mm podem provocar tombamento e mesmo o capotamento de veículos, dependendo do seu peso, velocidade, sistema de suspensão, ângulo de impacto e do arraste em curvas. Carros pequenos têm participação em acidentes graves superior à proporção que representam no tráfego. Em consequência, meios-fios intransponíveis não são recomendados para rodovias de velocidades elevadas. Também não devem ser considerados como proteção eficiente para pedestres em passeios laterais nem para postes de utilidade pública.

6.1.3. Descontinuidade na seção transversal

Uma rodovia com seção consistente é aquela que mantém o número e larguras das faixas e a largura do canteiro central em um comprimento significativamente longo. Muitas prefeituras executam melhoramentos de rodovias existentes de acordo com uma seção típica adotada para implantação entre os limites da área marginal em desenvolvimento. A Figura 34 mostra uma rodovia rural de duas faixas e dois sentidos de tráfego que se segue por um segmento que foi alargado para acomodar uma futura rodovia de quatro faixas com sarjeta e meios-fios nas bordas. Ao fim desse segmento, a rodovia volta para duas faixas e dois sentidos. O desenvolvimento geralmente não é uniforme e frequentemente feito por trechos, o que resulta em uma mistura de seções estreitas e alargadas ao longo da rodovia. Quando isso ocorre, devem ser incluídos comprimentos adequados de transição para redução de faixas. Pode ser conveniente incluir delineadores nos locais em que as faixas terminam. A rodovia deve ser sinalizada e provida de marcas no pavimento de acordo com o Manual de Sinalização do DNIT e o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN.

Figura 34 – Descontinuidade da seção transversal

6.1.4. Conflito entre capacidade e segurança na adição de uma faixa de giro

Melhorias em interseções incluem mudanças nas próprias interseções, bem como nos trechos de aproximação. Há quatro elementos distintos a considerar:

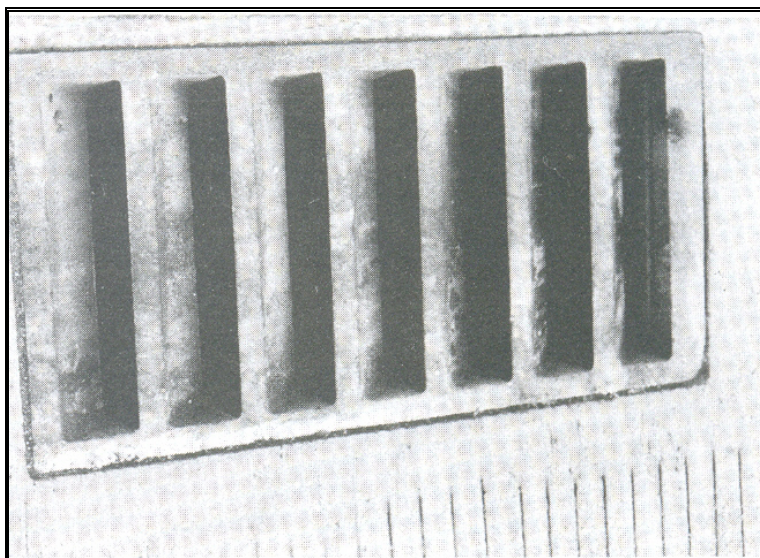
- Geometria da rodovia;
- Dispositivos e sistemas de controle de tráfego;
- Características da superfície do pavimento, tais como atrito e irregularidade;
- Características das áreas laterais, tais como taludes transponíveis.

Mesmo que o melhoramento de uma interseção não envolva todos os quatro elementos, eles estão inter-relacionados. Mudanças em um dos elementos podem afetar as condições de segurança dos demais. Como exemplo, a interseção apresentada na Figura 35 foi objeto de um melhoramento operacional para introduzir uma faixa de giro à esquerda, aterrando uma parte do canteiro central. Isto resultou na implantação de um talude de inclinação elevada na borda do ramo de giro. Após uma série de acidentes em que veículos ultrapassaram, à noite, a borda do ramo, foram instalados delineadores padronizados. Esses delineadores foram destruídos por acidentes provocados por deslocamentos laterais e foram substituídos pelos marcadores de obstáculos constantes da figura. Os marcadores ajudaram a superar um problema criado, como parte de uma melhoria operacional. O objetivo deste exemplo é mostrar que melhoramentos da geometria e da operação estão inter-relacionados com a segurança das áreas laterais e devem ser planejados e projetados em conjunto.

Figura 35 – Exemplo de melhoramentos que podem ter consequências negativas

6.1.5. Bicicletas

Muitas rodovias urbanas e suburbanas incluem forte participação do tráfego de bicicletas, que se espera que cresça com o tempo. Há muitas maneiras de tornar as rodovias existentes próprias para acomodar o tráfego de ciclistas de forma mais segura. Os responsáveis pelo sistema de transportes rodoviários devem conduzir estudos sobre a demanda de tráfego de bicicletas e preparar um plano, indicando as prioridades de melhorias de seu atendimento, tanto nas rodovias existentes e planejadas como em ciclovias independentes. Nas rodovias existentes, as condições das vias devem ser examinadas e, onde for necessário, devem ser providos: grelhas de drenagem (Figura 36), travessias suaves de ferrovias, pavimentos lisos e controle de tráfego, que possam melhor atender às necessidades das bicicletas. Além disso, a conveniência de acrescentar ciclofaixas, ciclovias, melhorias nos acostamentos e acostamentos pavimentados deve ser analisada. Faixas largas junto a meios-fios devem ser consideradas como uma alternativa final. Orientação relativa a elementos afetando o tráfego de bicicletas pode ser encontrada no Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas – DNIT – 2010.

Figura 36 – Grelha de drenagem adequada para bicicletas

6.2. CANTEIROS CENTRAIS E ÁREAS MARGINAIS

Acidentes causados por veículos desgovernados que saem da rodovia representam um grande número de mortes em áreas urbanas. Esses acidentes frequentemente acontecem em períodos fora de pico, com velocidades de operação superiores à média. Devido ao fato de que objetos fixos estão normalmente localizados mais próximos da rodovia em áreas urbanas do que em áreas rurais, a probabilidade de que sejam atingidos é alta.

6.2.1. Obstáculos nas áreas marginais

Objetos fixos próximos da rodovia não são desejáveis, porque podem causar estragos e danos, se atingidos por um veículo, e reduzir as distâncias de visibilidade em interseções e outros pontos de acesso à rodovia. Quando construídas, a maioria das rodovias tem adequada distância de visibilidade. Com o passar do tempo, no entanto, tendem a ser incluídos nas suas bordas potenciais causadores de obstruções à visibilidade. Alguns deles, como sinais de controle de tráfego ou bancos para aguardar ônibus, são colocados pela administração pública. Outros, como árvores ou arbustos, podem vir a ser plantados na faixa de domínio, com ou sem o conhecimento ou permissão das autoridades. Outras obstruções, como mato e vegetações similares, podem se desenvolver naturalmente.

De um modo geral, nas rodovias típicas das áreas urbanas e suburbanas, não é viável manter uma mesma largura para a área lateral livre de objetos fixos, como se faz para rodovias rurais e vias expressas. A área de borda (faixa de domínio entre os meios-fios e a propriedade privada) é muito limitada nas vias urbanas, em muitos casos não passando de 2,50 m a 3,60 m. Mesmo essa área limitada não pode ser mantida inteiramente livre de obstruções, devido às várias funções que exerce. Além de prover espaço para o tráfego de pedestres, a área de borda frequentemente tem que acomodar serviços de utilidade pública e servir como área de proteção ou para construir canteiros que separem a rua das propriedades adjacentes. Em muitas cidades, a área de borda é propositadamente limitada por árvores, melhorando a aparência, tanto da rodovia como das propriedades adjacentes.

Devido aos milhares de objetos fixos que ocupam as bordas das ruas principais em uma cidade, pode ser impraticável remover os que encontram nas faixas de domínio. Mesmo se as disponibilidades financeiras forem ilimitadas, a remoção de todos esses objetos, dentro de uma largura especificada, pode não ser uma alternativa econômica adequada. Quando existem meios-fios, é preferível colocá-los tão perto do limite da faixa de domínio quanto possível. Outros objetos não essenciais, como árvores, devem ser removidos das bordas da rodovia, sempre que possível. No caso de árvores, além dos cuidados com a segurança, devem ser levados em conta os valores estéticos e ambientais que elas representam. O custo ambiental de remover todas as árvores ao longo de uma via de maior importância pode ser superior aos benefícios potenciais para a segurança. Uma árvore isolada excessivamente próxima da rodovia, ou que está em uma posição muito vulnerável, é candidata à remoção.

6.2.2. Passeios laterais

Passeios laterais e vias de pedestres separadas claramente oferecem a melhor solução para os pedestres e devem ser construídos em ambos os lados de uma via urbana. As declividades transversais das vias de pedestres devem atender às recomendações do *Manual* de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas do DNIT, especialmente nos acessos às propriedades marginais. As descontinuidades das ligações das vias de pedestres/bicicletas constituem uma das maiores barreiras para sua aceitação como meios adequados para maiores deslocamentos.

Projetos adequados em interseções, pontes e viadutos aumentam muito a segurança dos ciclistas e pedestres. Passeios laterais e projetos separados para ciclistas e pedestres devem ser executados através de ambos os lados das pontes e viadutos, sempre que for praticável. Restrições econômicas e de faixa de domínio inibem, algumas vezes, a inclusão de passeios laterais em ambos os lados de uma ponte ou viaduto. Nesses casos, os projetos para atender a pedestres e ciclistas adjacentes à estrutura devem ser refeitos, de modo a conseguir-se uma travessia segura. Canteiros centrais dotados de meios-fios, iluminação, sinalização e marcas no pavimento são os elementos para acomodação segura dos movimentos de travessia de pedestres e ciclistas de uma estrutura com um passeio lateral em um único lado. Considerações semelhantes devem ser feitas em situações em que se necessita de acesso a estações de transporte de massa, centros esportivos ou de convenções, parques ou outros locais de concentração pública.

Passeios laterais devem ser separados da rodovia adjacente por algum tipo de isolamento, tal como uma faixa plantada ou um sistema aprovado de barreiras, em função da situação local. Se não for possível prover esse isolamento com áreas de estacionamento, ciclovias ou outra solução, configura-se uma situação crítica. A largura de um passeio lateral depende de sua localização e do seu uso previsto. A seguir, são sugeridas especificações para larguras mínimas de passeios laterais.

- Área comercial central

  Deve ser feita análise de nível de serviço, de acordo com os métodos do *Highway Capacity Manual*.

- Áreas comerciais e industriais fora da área central

  Uma largura mínima de 1,50 m, com uma faixa plantada de, pelo menos, 1,20 m ou um passeio de 2,40 m, sem faixa lateral plantada.

- Áreas residenciais fora da área comercial central

Ruas arteriais e coletoras – Uma largura mínima de 1,50 m, separada da pista de rolamento da rodovia por uma distância de 0,60 m, pelo menos, para impedir que deslocamentos laterais de veículos atinjam pedestres.

Ruas locais – Uma largura mínima de 1,20 m deve ser planejada.

As estruturas de pontes ou viadutos, planejados para acomodar tráfego de pedestres e ciclistas em vias de alta velocidade, devem ser projetadas com uma barreira rígida separando o tráfego de veículos do tráfego de pedestres e de ciclistas. Frequentemente,é desejável acomodar o tráfego de pedestres e ciclistas em uma estrutura separada, dependendo da natureza do tráfego de veículos e de seu volume, bem como da configuração da estrutura da ponte ou viaduto.

Em áreas suburbanas desprovidas de passeios laterais, sua construção geralmente é conveniente, nas áreas próximas de escolas, igrejas e outros locais onde tráfego de alta velocidade e volume é acompanhado de volumes elevados de pedestres. Outras áreas suburbanas que merecem consideração quanto à adoção de passeios laterais são as que apresentam grande número de viagens de pedestres com origem e destino conhecidos e áreas cercando zonas de recreação.

Recomenda-se que acostamentos pavimentados com 1,20 m de largura sejam construídos em todas as rodovias em que forem passíveis de implantação, dentro da distância de 8 km de uma área urbana, para acomodar o tráfego de pedestres e ciclistas. Ao longo de uma via arterial suburbana de maior velocidade, passeios laterais para pedestres e área adicional para ciclistas devem ser providos. Para que se obtenha um grau razoável de segurança desejavelmente não devem ser adjacentes à rodovia.

Rampas de acesso devem ser instaladas em todas as travessias, esquinas e outros locais em que se preveja a travessia de pedestres (travessias em meio de quadra), para atender aos que apresentem dificuldades de locomoção. Exceções podem ser consideradas em locais sem espaço suficiente para instalar uma rampa apropriada. Essas rampas devem ter uma textura superficial contrastante, que permita aos pedestres com deficiência visual distingui-las das áreas laterais. Não deve haver descontinuidade de altura na base da rampa, para que não prejudique a passagem de pessoas em cadeira de rodas que desejem usá-las. A rampa e a área de acesso devem ser mantidas livres de semáforos e seus controladores, postes de iluminação, sinais de tráfego e outros obstáculos. Os passeios laterais devem ser contínuos, com boa visibilidade e livres de obstruções, como caixas de correio, bancas de jornal, sinais, postes de iluminação e árvores.

6.2.3. Elementos laterais e dispositivos de segurança

Em áreas urbanas, barreiras não são usualmente instaladas, a não ser em situações potencialmente perigosas, como uma seção com taludes laterais elevados ou nas obras-de-arte especiais. A aplicação de barreiras em áreas urbanas é frequentemente impedida ou restrita pelas limitações da faixa de domínio. Devido a esses e outros fatores, o estudo específico de cada local é necessário para que se identifiquem as soluções que melhor sirvam ao interesse público.

Quando o objetivo básico da barreira é proteger os ocupantes da área adjacente, pode haver casos onde interrupções são necessárias. Um sistema de barreira não deve terminar com uma forma que possa penetrar em um veículo. Seções curtas não devem ser empregadas em torno de elementos do mobiliário urbano, porque oferecem pouca proteção aos motoristas e ao mobiliário.

Às vezes, um trecho de defensa pode ser colocado no topo de uma interseção em T, como acontece quando uma rua local termina em uma rodovia auxiliar. Entretanto, se a seção é abaixo de padrão, muito curta, ou sem ancoragem adequada, ela será de pouca utilidade, porque não impedirá que um veículo com grande velocidade atravesse a interseção, vindo da rua local. Constitui, ainda, um obstáculo adicional para um veículo que venha pela rodovia auxiliar. Portanto, se utilizada, deve ser forte o suficiente para impedir sua penetração pelos impactos mais prováveis, e adequadamente ancorada.

a) Barreiras para proteger as propriedades marginais

A condição básica para uso de barreiras tem como premissa que sua instalação venha reduzir a severidade de potenciais acidentes. Como um refinamento adicional, deve ser feita uma análise de benefício-custo, em que a velocidade e o volume de tráfego sejam considerados representativos da severidade e probabilidade do impacto. Em muitos casos, as condições determinadas para rodovias rurais de alta velocidade podem não representar adequadamente as necessidades de proteção do público em áreas urbanas e suburbanas. Na prática, nessas áreas é dada maior consideração à proteção da população à margem da rodovia, procurando impedir uma possível catástrofe e protegendo os usuários das propriedades marginais dos perigos que lhe são impostos por veículos desgovernados. Áreas de recreio de escolas e residências situadas do lado externo de curvas fechadas, e através de interseções tipo T, são exemplos de locais em que barreiras podem ser convenientes.

Conforme já observado, uma barreira deve ser suficientemente forte para impedir que um veículo desgovernado penetre em uma determinada área. Se não tiver estrutura adequada, pode ser um problema pior para as pessoas que ela deve proteger do que a sua ausência. Pode ser mais conveniente um simples delineamento para o tráfego ou sinais de advertência para alertar os

motoristas sobre a situação. O lançamento de fragmentos resultantes do impacto de um veículo com uma barreira deficiente é potencialmente fatal para as pessoas situadas nas proximidades.

b) Equipamentos dos semáforos

A visibilidade dos semáforos é de importância capital e devem ser empregados todos os esforços no sentido de localizá-los dentro do cone de visão dos motoristas. Os suportes dos sinais, entretanto, devem ser localizados tão longe da rodovia quanto for praticável, utilizando braços em balanço ou sistemas de cabos de sustentação. Isto é especialmente verdadeiro quando se apresentam as seguintes condições: tráfego de alta velocidade, ausência de faixas de estacionamento, localização na faixa externa de uma curva ou muitos movimentos de giro. Como uma condição mínima, os postes de sustentação devem ficar situados fora da área lateral livre (área de recuperação), desde que a faixa de domínio o permita. Durante o projeto de uma nova instalação de semáforos ou de modificação de uma existente, os projetistas podem colocar os postes de sustentação e suas fundações, de modo a atender à área lateral livre, sem considerar a possibilidade de impactos por veículos desgovernados. Frequentemente, uma pequena alteração de posição de um poste ou fundação pode reduzir muito a probabilidade de ser atingido por um veículo desgovernado. Equipamento de barras em balanço e sistemas de cabos de grandes vãos permitem atender à sustentação dos sinais que caracterizam os fluxos preferenciais. Podem ser usados sistemas de cabos, com vãos de 60 a 90 m, em interseções semaforizadas, em áreas rurais e suburbanas, para obter redução significativa de acidentes envolvendo postes de sustentação da sinalização. A Figura 37 mostra um sistema de sustentação por cabo, projetado para respeitar as áreas laterais livres.

Figura 37 – Sistema de sustentação de semáforos por cabos

Postes de sinalização semafórica nunca devem ser localizados em frente de uma barreira. Um veículo desgovernado que atinja a barreira pode deslizar ao longo da mesma e bater no poste. Barreiras existentes podem ser complementadas, de modo a protegerem adequadamente os motoristas, depois que os novos postes forem instalados. Se possível, os suportes dos postes das instalações suspensas de semáforos não devem ser colocadas no canteiro central ou em ilhas elevadas, exceto no caso de canteiros centrais largos, maiores que 10 m. Postes em um canteiro central devem ser colocados, de modo a se obter o máximo afastamento para cada sentido de tráfego. Os postes de suporte instalados no canteiro central ou em ilhas elevadas devem ser quebráveis, a não ser que condições específicas impeçam seu uso.

c) Suportes quebráveis de sinais

Suportes quebráveis de sinais devem ser usados em áreas urbanas e suburbanas, a não ser que uma análise técnica indique que é mais inseguro permitir que um veículo prossiga desgovernado. Essa análise deve considerar as velocidades dos veículos, a largura e as condições de trafegabilidade da área lateral da via, a presença de condições em que não se quebram, a ocorrência de acidentes e os volumes de pedestres. As horas em que ocorrem as colisões por veículos que saem da rodovia devem ser comparadas com as horas de pico de tráfego de pedestres. O problema do envolvimento de pedestres com suportes derrubados ou com veículos desgovernados tem levado ao uso de suportes fixos em algumas áreas urbanas. Exemplos de locais onde pode ser imprudente o uso de suportes quebráveis são locais adjacentes a paradas de ônibus ou áreas com expressiva concentração de pedestres, especialmente durante as horas da tarde, quando ocorrem os acidentes mais severos nas áreas marginais.

d) Acomodação de postes de serviços de utilidade pública

Fatores, como volume de tráfego, velocidade, tipo e largura de via, são relacionados com a frequência e severidade dos acidentes envolvendo postes dos diversos tipos de serviços à margem da rodovia, e que são muito mais frequentes nas vias urbanas arteriais e coletoras, devido à maior densidade desses postes.

Serviços públicos apoiados no solo devem ser localizados tão perto dos limites da faixa de domínio quanto possível, durante relocação desses serviços ou obras de reconstrução. Isto significa tão longe quanto possível dos meios-fios e, quando viável, atrás dos passeios laterais. Vias existentes devem prever a relocação dos postes de serviços públicos, quando se esgota o prazo de eventuais franquias. Não é sempre viável a relocação de todos os postes dentro dos limites do projeto. Locais críticos devem, então, ser considerados para melhorias, tanto aqueles indicados pela experiência em acidentes

ocorridos ou pela suas características com maior potencial para acidentes, quanto curvas. Onde postes não podem ser removidos ou relocados de situações críticas, um projeto de tipo quebrável deve ser considerado.

Nas rodovias urbanas com meios-fios, o afastamento de 0,50 m, preconizado pela AASHTO, deve ser considerado como um valor mínimo absoluto, recomendando-se usar valores maiores, se a faixa de domínio o permitir. Reconhece-se que a colocação de serviços de utilidade pública em ruas urbanas, conservando espaços mínimos, constitui casos especiais que devem considerar as condições e limitações existentes.

É comum a aceitação da distância de 0,50 m para instalação de serviços de utilidade pública, como normalmente aceitável. O afastamento de 0,50 m é a distância mínima para evitar conflitos com componentes de caminhões e para proteger sinais instalados junto à rodovia; não traz nenhum outro benefício. A introdução das grandes composições de veículos de carga (CVC) torna mais crítico o valor desse mínimo, devendo-se considerar, em cada caso, os veículos que utilizarão as vias.

Os postes dos serviços de utilidade pública devem ser localizados tão longe quanto possíveis dos meios-fios ou borda do pavimento; se viável essa recomendação, aplica-se a todas as instalações à margem da rodovia (sinais, postes etc.). Os postes não devem reduzir a distância de 0,90 m prevista como necessária para pessoas com limitações em seu deslocamento. Isso provê uma área lateral mais segura e melhora muitas as distâncias de visibilidade e a visibilidade nas interseções. Desejavelmente, postes não devem ser colocados próximos a interseções, já que a proximidade aumenta o perigo de serem atingidos e reduz as distâncias de visibilidade nas interseções.

6.2.4. Faixas de giro à esquerda para atender aos dois sentidos de tráfego

Dois tipos comuns de canteiros centrais são usados em rodovias urbanas e suburbanas: canteiros centrais dotados de meios-fios, com ou sem faixas de giro, e canteiros centrais no nível da rodovia, com faixas de giro à esquerda, para atender aos dois sentidos de tráfego. Canteiros centrais dotados de meios-fios são considerados seguros para volumes elevados de tráfego, altos níveis de desenvolvimento e velocidades moderadas dos veículos. Pesquisas mostram que os canteiros centrais dotados de meios-fios apresentam os menores níveis de acidentes com pedestres, tanto nos centros de comércio como nas áreas suburbanas. Nas travessias de meio de bloco tendem, entretanto, a apresentar acidentes mais severos.

Uma faixa de giro à esquerda para atender a ambos os sentidos, como exemplificado na Figura 38, é uma faixa no centro da rodovia, destinada à execução de giros à esquerda, para os dois sentidos de tráfego. Apresenta as seguintes vantagens:

- Remove os veículos que giram à esquerda da corrente de tráfego direto;
- Provê acesso direto à área adjacente, independente das localizações dos acessos às propriedades;
- Provê uma área abrigada, para veículos girando à esquerda para a rodovia, provenientes dos acessos a propriedades marginais;
- Provê separação do movimento direto de veículos;
- Atende ao fluxo direto, em caso de acidente;
- Provê uma alternativa para veículos que atendem a emergências, em períodos de congestionamento;
- Permite a adoção do sistema de faixas reversíveis.

Figura 38 - Faixas de giro à esquerda para dois sentidos de tráfego

Esse tipo de projeto não é recomendado para rodovias com mais de quatro faixas, porque uma larga faixa de pavimento tem que ser atravessada, para fazer os giros à esquerda. Estudos mostram que os pedestres usam essa faixa como área de refúgio, na travessia da rodovia. Com essas faixas, os índices de acidentes de pedestres, embora não sejam tão baixos quanto nos canteiros centrais, são significativamente inferiores aos das seções não divididas. Estudos têm mostrado que, com seu uso, se consegue uma redução de 25% a 35%, no total de colisões. Essas faixas são justificadas, se o tráfego médio diário for maior que 5.000, em rodovias de duas faixas, e maior que 10.000, em rodovias de faixas múltiplas. Outros estudos indicam que, mesmo para volumes menores, podem ser recomendadas, e com seus custos justificados. Para seu uso, a largura recomendada para o canteiro central deve ser de 3,60 m a 4,20 m. Para trechos curtos, uma largura de 3,00 m pode ser aceitável, onde a velocidade não exceder 50 km/h. Uma largura maior que 4,50 m deve ser evitada. Em alguns

casos, tem-se determinado uma grande correlação entre colisões e velocidade nessas seções, havendo mesmo recomendações no sentido de que não sejam empregadas, onde a velocidade exceder 65 km/h. Devem ser empregadas sinalização adequada e marcas no pavimento.

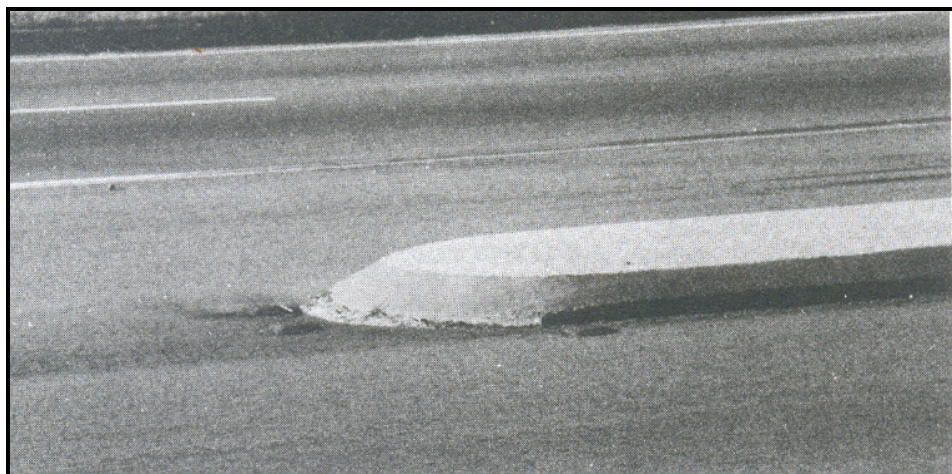
Meios-fios em canteiros centrais aumentam a segurança e a qualidade da operação do tráfego direto, controlando a localização dos giros à esquerda e separando as correntes de tráfego opostas. Se o canteiro central elevado tiver pelo menos 1,20 m de largura, pode ser usado pelos pedestres como área de refúgio, possibilitando que atravessem as correntes de tráfego de sentidos opostos, uma de cada vez. Se o canteiro central tiver mais que 3,60 m de largura, pode servir como faixa de desaceleração e área de espera para veículos girando à esquerda, em pontos escolhidos para travessia. O uso de canteiros centrais dotados de meios-fios, em áreas com grande densidade de acessos a propriedades, pode resultar em maiores demoras e consumo de combustível, devido à falta de acesso direto para giros à esquerda. Canteiros centrais dotados de meios-fios são frequentemente criticados pelo comércio local, que os consideram inibidores de acesso. Os movimentos de giro são concentrados em locais selecionados, o que reduz o número total de pontos de conflito de veículos entrando e saindo da via.

Um estudo feito em rodovias norte-americanas analisou os índices de acidentes de trechos com quatro ou seis faixas, com canteiros centrais dotados de meios-fios e faixas de giro à esquerda, para atender aos dois sentidos de tráfego. Nos trechos com quatro faixas, os canteiros centrais dotados de meios-fios se revelaram mais seguros, em quaisquer condições. As diferenças nos índices de acidentes decresciam com o aumento do número de semáforos/km. Nos trechos com seis faixas, os canteiros centrais dotados de meios-fios se revelaram mais seguros, exceto em alguns casos. Onde forem empregados canteiros centrais dotados de meios-fios, devem ser consideradas as seguintes condições:

- Para proporcionar melhor visibilidade noturna, os narizes dos canteiros centrais delineados por meios-fios devem ser dotados de material retrorrefletivo;
- Os canteiros centrais dotados de meios-fios devem ser projetados com narizes em forma de cunha. Embora eles não impeçam que o veículo tombe, aumentam a capacidade dos motoristas em controlar os veículos, principalmente em baixas velocidades;
- Aberturas nos canteiros em forma de ogiva, ao invés de semicírculos, devem ser consideradas, principalmente para canteiros com largura superior a 3,00 m.

Canteiros centrais dotados de meios-fios também são usados por razões estéticas. É particularmente importante limitar plantações a gramas ou pequenos arbustos que não causem obstruções à

visibilidade nem problemas de segurança a veículos que saiam da rodovia. Os meios-fios de canteiros centrais de rodovias que permitem velocidades maiores que 70 km/h devem ser transponíveis, para reduzir a probabilidade de provocarem a ocorrência de veículos desgovernados. A Figura 39 mostra um exemplo de meio-fio de canteiro central com inclinação transversal aceitável.

Figura 39 – Canteiro central com meio-fio transponível

6.2.5. Paisagismo

Ao longo de vias urbanas existe algum tipo de paisagismo. Árvores, arbustos, grama, tratamentos decorativos das superfícies e outros materiais ajudam a formar um ambiente agradável para os motoristas, pedestres, ciclistas e moradores das áreas marginais.

O projetista da via deve sempre participar das decisões relativas ao paisagismo, particularmente no que se refere à distância de visibilidade e relocação futura, devido a mudanças no alinhamento dos meio-fios. Considerações importantes a serem levadas em conta no projeto do paisagismo incluem:

- Quais serão as dimensões após o amadurecimento das árvores e arbustos empregados, e como essas dimensões afetarão a segurança, a visibilidade e os custos de manutenção?
- A área lateral é suficientemente larga para acomodar o tipo de paisagismo planejado? Se for permitido o estacionamento ao longo do meio-fio, o paisagismo previsto permitirá acesso aos veículos estacionados?
- O paisagismo projetado está levando em conta possíveis mudanças na seção transversal? Por exemplo, é uma prática normal a adição de uma segunda faixa de giro à esquerda em uma interseção de maior importância, tomando do canteiro central o espaço necessário. O paisagismo na área afetada deve ser mínimo, ou mesmo, não existente.

A AASHTO, na sua publicação *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* recomenda que qualquer árvore que atinja, ao amadurecer, um diâmetro de 100 mm, ou maior, deve ficar afastada, pelo menos, 10 m da borda da rodovia. Entretanto, em áreas urbanas com menores velocidades de operação, essa restrição pode ser ignorada. Desejavelmente, árvores grandes devem ficar afastadas, pelo menos, 2 ou 3 m da borda da via, para permitir o motorista ajustar-se à área disponível, evitando uma colisão.

Restrições à visibilidade resultantes do paisagismo são de grande importância para o engenheiro projetista. Pontos que devem ser analisados são:

- O paisagismo das áreas laterais deve permitir aos motoristas e pedestres total visibilidade dos acessos às propriedades marginais;
- Nas ciclovias, é particularmente importante controlar a extensão do paisagismo, ao longo da área lateral;
- De um modo geral, é desejável ter visão livre do espaço de 1 a 3 m acima da pista, ao longo de todas as vias e todas as interseções, para permitir que os motoristas de carros esportivos de baixa altura e de caminhões e ônibus disponham de boa visibilidade. O ideal é conseguir que as próprias prefeituras incluam, em suas regulamentações, essas restrições, fixando também alturas máximas, para arbustos, e mínimas, para galhos de árvores em balanço;
- Devem ser tomados cuidados especiais no paisagismo de pequenas ilhas, porque sua manutenção é difícil e potencialmente perigosa para os trabalhadores das equipes de manutenção;
- Grandes árvores e rochas não devem ser previstas em pontos críticos (divergências de faixas, narizes de ilhas etc.) para proteger postes ou outros possíveis obstáculos. Sinalização e iluminação adequadas e boa geometria devem ser usadas para eliminar problemas de segurança.

Para os pedestres é melhor ter uma faixa verde separando o passeio público do meio-fio, afastando-os, dessa maneira, do tráfego de veículos. Normalmente, essa é uma boa medida, exceto quando a vegetação (árvores, arbustos mais altos) possa esconder as crianças pequenas da visão dos motoristas.

6.3. CONTROLE DE ACESSOS

Acessos ilimitados de veículos a rodovias urbanas e suburbanas criam numerosos conflitos de tráfego, aumentando o potencial de acidentes. Acessos adequadamente projetados provêm entradas e saídas mais seguras para os motoristas. É recomendável que sejam em menor número e os seus ramos

tenham maior capacidade, atendam a mais de uma propriedade e que os giros à esquerda sejam localizados em pontos específicos.

A regulamentação e controle da implantação e uso de acessos são uma maneira efetiva de reduzir conflitos de tráfego relacionados com acessos a propriedades e interseções. O DNIT e órgãos rodoviários estaduais, e mesmo municipais, devem dispor de regulamentação própria para acessos às vias sob sua jurisdição. O Manual de Acesso de Propriedades Marginais a Rodovias Federais – DNIT – 2006 é um exemplo para esse tipo de regulamentação. A ausência de uma regulamentação tem resultado em rodovias próximas de áreas comerciais muito desenvolvidas, em que há um virtual acesso contínuo às propriedades marginais. Além de problemas de segurança para os motoristas, essa situação cria conflitos constantes para os pedestres.

6.3.1. Técnicas de controle de acessos

As técnicas de controle de acessos se distribuem em quatro categorias principais:

- Limitação do número de pontos de conflito;
- Separação das áreas básicas de conflito;
- Limitação das necessidades de desaceleração;
- Remoção dos veículos executando manobras de giro ou formando filas nas faixas com tráfego direto.

Essas técnicas incluem instalações de barreiras e separadores no canteiro central, operação em um único sentido e ilhas canalizadoras. A acomodação dos pedestres deve, também, ser considerada, quando são projetados os acessos. Mais detalhes podem ser encontrados na publicação *Access Management for Streets and Highways* – FHWA – 1982. Para algumas vias arteriais principais em áreas urbanas e suburbanas, pode ser criada uma via local paralela à rodovia com acesso irrestrito às propriedades marginais. O acesso da rodovia a essa via local deve ser, entretanto, controlado, sendo permitido apenas em pontos e com condições fixados pelos responsáveis pela rodovia.

Para outras vias arteriais e coletoras, os responsáveis não podem negar acesso, mas podem fixar condições especiais para sua concessão em áreas comerciais. Essas exigências devem incluir acessos às propriedades adjacentes, com larguras mínimas de 5 a 7,50 m, larguras máximas de 12 a 15 m, raios mínimos de giro de 7,50 a 15 m e esconsidades de 45° a 60°. O espaçamento mínimo entre acessos deve ser de 30 a 100 m e a distância mínima entre interseções de 30 a 140 m. A publicação *Guidelines for Driveway Location and Design* – ITE – 1987 contém informação adicional para o projeto e operação desses acessos.

A eliminação e consolidação das entradas e saídas também são partes da técnica de controle dos acessos a propriedades marginais, e deve ser aplicada em muitas áreas urbanas e suburbanas, especialmente onde não há meios-fios e o acesso é livre para entrada ou saída. A construção de meios-fios com a seleção de pontos de acesso, ao longo das propriedades laterais, reduz muito os potenciais pontos de conflito.

6.3.2. Vias de serviço

Vias de serviço designam aquelas vias destinadas à transferência de veículos de alta velocidade provenientes de vias arteriais para vias locais de baixa velocidade e vice-versa. Os benefícios principais obtidos com a implantação dessas vias são o aumento da capacidade e da segurança.

É extremamente difícil implantar vias de serviço nas áreas urbanas centrais, devido à grande quantidade de acessos existentes e os custos frequentemente proibitivos da aquisição de faixa de domínio. Além disso, as velocidades de operação nessas áreas são relativamente baixas. Nos centros de comércio mais afastados, áreas residenciais e áreas suburbanas em rápido desenvolvimento, este conceito é extremamente benéfico. Uma via arterial pode ser complementada com vias de serviço, quando shoppings ou desenvolvimento de outra natureza atingem a área. O ideal é que as vias de serviço se desenvolvam ao longo de uma via arterial. Entretanto, embora tragam grandes benefícios, elas podem ser descontínuas ou mesmo ser tão curtas quanto um quarteirão.

Para implantação de uma via de serviço, a situação básica a considerar é o tratamento geométrico de sua interseção com uma rodovia transversal à via arterial. Essa interseção introduz pontos de conflito adicionais. O espaçamento entre as interseções em que as vias arterial e de serviço encontram a via transversal e os ângulos nessas interseções são elementos de projeto importantes. As interseções devem ficar separadas pelos menos de 45 a 75 m, para que não seja prejudicada a interseção da arterial com a transversal. Desejavelmente a via de serviço deve ter um sentido único de percurso, porque a operação de uma rodovia com dois sentidos agrava os problemas potenciais da interseção.

6.3.3. Retornos em vias de pista dupla

Em vias arteriais e coletoras, é imperativo que o acesso para o tráfego de veículos seja provido entre seus dois sentidos de tráfego. Duas opções são possíveis:

- Permissão para retornos em “U” nas interseções;
- Provisão de aberturas no canteiro central exclusivas para retorno.

Em áreas urbanas onde o espaçamento dos quarteirões é relativamente curto (de 150 a 180 m), de um modo geral são desnecessárias aberturas do canteiro. Nas áreas suburbanas, no entanto, é desejável que se façam essas interrupções, para reduzir alongamentos de percurso do tráfego afetado. Pode ser conveniente fixar espaçamentos mínimos entre aberturas do canteiro central.

Quando um veículo deseja efetuar uma manobra de retorno usando uma abertura do canteiro central, inicialmente passa para a faixa da esquerda, se já não estiver na mesma. Ao chegar à abertura, iniciará a manobra de retorno. Se existir faixa de desaceleração, reduzirá a velocidade até atingir a velocidade de giro que permita contornar o canteiro. Se existir faixa de aceleração, utilizará essa faixa para atingir a velocidade diretriz da rodovia e, então, concluirá a manobra de retorno da forma mais segura. A eliminação da faixa de aceleração exigirá um tempo de espera protegido pelo canteiro central, enquanto aguarda a oportunidade de inserir-se no tráfego direto, o que pressupõe uma área de armazenamento. Se essa área for adequadamente dimensionada, pode-se obter uma operação segura. Se eliminar a faixa de desaceleração, o fato do tráfego da faixa esquerda mover-se com maior velocidade, combinado com a desaceleração necessária para efetuar a manobra de retorno, pode levar a colisões pela traseira, reduzindo em muito a segurança.

Os volumes de tráfego na rodovia e executando a manobra de retorno, em conjunto com as velocidades diretrizes e de operação, são as bases para o projeto. Normalmente não se deve permitir retorno a partir da faixa de tráfego direto. Em áreas urbanas, entretanto, casos especiais de baixo volume de tráfego e raras operações de retorno, em locais onde a abertura do canteiro central permite proteger o veículo, pode-se admitir a adoção de projetos dessa natureza. Em áreas rurais não se recomenda, como medida de ordem geral, retornos em via de pista dupla sem faixas de desaceleração e aceleração. Os projetos dos retornos devem seguir a orientação do Manual de Projeto de Interseções do DNIT.

6.4. ASPECTOS OPERACIONAIS

6.4.1. Sinais de tráfego

Sinais de tráfego e marcas no pavimento têm um papel fundamental na obtenção de um fluxo de tráfego eficiente e seguro. Devem obedecer às diretrizes do Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT e do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN. Em complemento, pode ser consultado o *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* do FHWA, em sua versão mais recente.

Considerações adicionais, para rodovias urbanas e suburbanas, incluem:

- Em áreas visualmente complexas, como setores em desenvolvimento, os sinais críticos devem ser intensamente refletorizados, para que chame a atenção com maior eficiência;
- Deve ser encorajado o uso de letras de maiores dimensões (150 mm ou maiores), para os sinais de nomes de ruas em interseções urbanas e suburbanas;
- Sinais diagramáticos para orientar motoristas para vias expressas ou com maiores geradores de tráfego são convenientes em muitas áreas urbanas que são frequentemente visitadas por motoristas de fora da cidade;
- A colocação de sinais de orientação com o nome da via transversal acima, ou antes de uma interseção, pelo menos nas principais ruas coletoras, e acima das ruas transversais, ajuda a identificação da rota a seguir e impede mudanças de faixa de última hora e direção indecisa;
- Áreas com desenvolvimento muito denso tendem a ser sobrecarregadas de sinais. Deve ser dada atenção especial à necessidade de cada sinal e ao local de sua colocação. Sinais de regulamentação são os mais críticos, em seguida vêm os de advertência e então os de orientação.

6.4.2. Velocidades por zonas

Dois resultados indicativos do sucesso da fixação de velocidades limites em uma zona são a redução do risco de acidentes e a obediência aos limites de velocidade fixados. O fator que leva à aceitação, pelo motorista, do limite fixado é a sua percepção de que esse limite é razoável. Essa percepção é baseada na intuição dos motoristas quanto ao risco de acidentes, ou seja, seu sentido da máxima velocidade com que podem prosseguir em segurança ao longo do trecho em que se encontram. Essa decisão geralmente não é baseada nas características do projeto da rodovia, mas frequentemente por fatores subjetivos, como a familiaridade com o trecho e com o volume de tráfego observado. Uma

exceção é quando o projeto das ruas de áreas residenciais é feito de modo a inibir velocidades altas. Essa técnica "*Traffic Calming*" é usada mais frequentemente na Europa.

Métodos para estabelecer limites de velocidade geralmente caem em três categorias:

- Limites de velocidade são frequentemente baseados em pesquisas de campo, em que se determina a velocidade abaixo da qual trafegam 85% dos veículos (velocidade percentil de 85%);
- Limites fixados por autoridades locais são frequentes em pequenas localidades e, em geral, são valores arbitrários e excessivamente baixos. A obediência a esses valores é quase sempre muito limitada, a não ser que o policiamento seja intensivo e visível;
- Análise por engenheiros, na ausência de estudos de velocidades. É um método frequentemente menos usado.

O primeiro método resulta em maior percentual de atendimento pelos motoristas. Estudos feitos mostram que a velocidade percentil – 85% – se situa entre 10 e 23 km/h dos limites de velocidade usualmente fixados, bem como 6 a 11 km/h acima da velocidade média. Esses mesmos estudos indicam, também, que o menor risco de acidentes se obtém com a velocidade percentil – 90% – de todas as velocidades observadas.

6.4.3. Paradas de ônibus

De um modo geral, as paradas de ônibus devem ser feitas após a travessia de uma interseção. Há vantagens e desvantagens das paradas se situarem antes ou depois das interseções. A parada antes da interseção tem a vantagem de permitir que os passageiros entrem e saiam dos veículos no passeio lateral mais próximo da interseção, mas impede a passagem dos veículos que pretendem seguir em frente ou efetuar giros à direta. A parada após a interseção elimina os perigos de atropelamento de pedestres que atravessam na frente dos ônibus.

6.5. INTERSEÇÕES

Estudos norte-americanos revelam que, embora apenas uma pequena parcela de um sistema de rodovias seja ocupada por interseções, nelas ocorrem cerca de 60% de todos os acidentes. Este alto número resulta do potencial elevado de conflitos, na junção de duas ou mais rodovias. Além disso, a possibilidade de erro humano é muito mais elevada nas interseções, onde os motoristas enfrentam uma grande quantidade de decisões: escolha de faixa, velocidade, rota e orientação para execução da manobra desejada, que deve ser executada em espaço e tempo relativamente curtos. Projetos de interseções ambíguos ou complexos podem causar problemas operacionais e de segurança, não

apenas para os motoristas, mas também para ciclistas e pedestres. Os idosos são frequentemente os mais afetados. Os projetos devem ser desenvolvidos de acordo com as recomendações do Manual de Projeto de Interseções – DNIT – 2005.

6.5.1. Aspectos do projeto

Embora se disponha dos resultados de uma quantidade bem elevada de pesquisas sobre projeto de interseções seguras, as muitas variáveis que contribuem para a ocorrência de acidentes dificultam a identificação das soluções mais adequadas. As seguintes características foram identificadas como elementos geométricos específicos que aumentam a segurança e devem ser considerados durante o projeto de uma interseção.

a) Projeto das esquinas

Os raios das curvas de concordância das esquinas afetam a segurança e a qualidade da operação de uma interseção. Raios maiores geralmente melhoram o fluxo de veículos, principalmente quando há ocorrência de grandes caminhões. Raios de 10 a 15 m e curvas compostas de três centros tendem a facilitar o movimento dos veículos e, no caso de ônibus e caminhões, reduzem a invasão das rodas traseiras nas faixas adjacentes. Por outro lado, raios maiores aumentam as velocidades de giro e as extensões das travessias dos pedestres. O posicionamento e visibilidade dos dispositivos de controle de tráfego podem ser mais difíceis com o uso de raios maiores. Por essa razão, raios menores são considerados como mais convenientes para o fluxo de pedestres. Assim sendo, a escolha dos raios deve ser cuidadosamente feita, de modo a atender ao motorista e ao pedestre, sem prejudicar a segurança de ambos.

Quando se prevê tráfego elevado de pedestres, os raios das curvas de concordância devem ser os menores admissíveis, para reduzir as distâncias a atravessar e aumentar suas distâncias de visibilidade. Ilhas canalizadoras, que podem criar áreas de refúgio para os pedestres e reduzir sua exposição na travessia de uma interseção, devem ser consideradas como alternativas. Quando se permite estacionamento ao longo do meio-fio, em ambos os lados, a redução das distâncias a atravessar de 12 a 15 m pode passar a 6 a 7,50 m.

Os deficientes físicos exigem tratamento especial nas interseções. Em locais onde se prevê grande número de pedestres deficientes, as características do projeto devem ser selecionadas, de modo a permitir seu deslocamento com segurança. Uma das medidas típicas para atender aos deficientes é a preparação de rampas para cadeiras de rodas com os meios-fios das calçadas rebaixados, ligadas às faixas de travessia. Leis devem tornar obrigatórias essas rampas nas interseções, em novas construções. Aumenta-se a segurança, tornando mais rápida sua passagem nas interseções e

diminuindo sua exposição ao tráfego de veículos. Se possível, as rampas devem ter uma inclinação suave, não maior que 1:12, e textura antiderrapagem, para segurança dos usuários de cadeiras de rodas e para que pedestres cegos as identifiquem. As coletas de água para drenagem devem ficar a montante das travessias e rampas de acesso.

b) Canalização

Interseções largas ou complexas podem ser confusas para os motoristas, se as direções a seguir não são claras ou se há decisões demais a tomar. Pedestres que desejam atravessar essas interseções são expostos a tráfego de várias direções, por períodos superiores aos normais, aumentando dramaticamente o perigo de acidentes. A canalização pode reduzir esses problemas. Estudos têm mostrado que, quando usada corretamente, pode orientar bem a passagem pelas interseções e reduzir consideravelmente os conflitos de pedestres e veículos.

As estratégias de canalização exigem projeto cuidadoso, como observado no Manual de Projeto de Interseções do DNIT, para tornar a travessia óbvia, fácil de seguir e de continuidade indiscutível. Um número mínimo de escolhas deve ser apresentado ao motorista e os movimentos proibidos tornados inacessíveis. Cuidados devem ser tomados para evitar canalização pouco clara ou que requeira mais de uma decisão de cada vez. Grandes ilhas delineadas por meios-fios são mais visíveis que ilhas pintadas e tendem a ser mais eficientes. Ilhas cercadas por meios-fios, com áreas inferiores a 7 m^2, devem ser evitadas ou cuidadosamente avaliadas quanto à visibilidade e acessibilidade para manutenção. Onde uma ilha pequena ou estreita for necessária, pode ser preferível uma ilha pintada, porque, com a diminuição da sua visibilidade, a própria ilha pode ser objeto de impacto. As ilhas devem ser precedidas de sinalização apropriada, que pode incluir placas, marcas do pavimento, pinturas termoplásticas, tachões, pavimentos de cor e textura diferentes. Uma revisão de todos os planos de canalização deve incluir, além da análise do próprio projeto, a verificação se, do ponto de vista de um motorista, a informação fornecida é correta e sem ambiguidades.

Informações adicionais sobre canalização podem ser encontradas no Manual de Projeto de Interseções - DNIT, no Manual de Projeto de Geométrico de Travessias Urbanas – DNIT, no Manual de Sinalização Rodoviária – DNIT e nas publicações *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* – AASHTO – 2004, e *Intersection Channelization Design Guide* – NCHRP *Report 279* – TRB – 1985.

c) Distância de visibilidade

Diversos estudos mostram que, quando a distância de visibilidade de uma interseção é aumentada, o índice de acidentes decresce. Análises de benefício-custo também são favoráveis à sua melhoria. Essa

distância é afetada por uma grande variedade de fatores, tais como a interferência de arbustos, sinais, edificações, cercas, paredes e mudanças dos alinhamentos horizontal e vertical. De um modo geral, a maior distância de visibilidade possível deve ser incorporada ao projeto de uma interseção. Onde houver problemas de visibilidade, devem ser tomadas medidas corretivas, através do projeto ou de elementos de controle.

A distância de visibilidade é reconhecida como de particular importância para os idosos e para os motoristas de ônibus e de grandes caminhões. O tempo de reação dos motoristas idosos pode ter sido reduzido com a idade. O aumento da distância de visibilidade da interseção provê uma maior margem de segurança, para compensar as deficiências desses motoristas. Esse aumento também é importante para caminhões em geral, devido à sua menor capacidade de aceleração. Onde grande volume de tráfego de caminhões é esperado, devem-se usar as taxas de aceleração de caminhões, ao invés das de carros de passeio, para determinar as distâncias mínimas de visibilidade a tolerar.

d) Faixas exclusivas de giro

Faixas exclusivas para giros à esquerda ou para giros à direita tornaram-se elementos comuns em muitas interseções urbanas e suburbanas. Elas podem aumentar a capacidade, melhorar a operação e reduzir consideravelmente a incidência de colisões traseiras. O projeto inadequado do comprimento da faixa reservada para veículos, aguardando a oportunidade de efetuar a manobra de giro à esquerda, pode criar um problema de segurança, ao invés de uma melhoria. Por sua vez, o uso de faixas contínuas de giro à direita pode criar problemas de segurança para ciclistas e deve ser objeto de controle, quanto ao seu número e seus comprimentos.

Em função dos fluxos da interseção, devem ser determinados os comprimentos para as faixas de giro à esquerda, que impeçam que os veículos, desejando efetuar essa manobra, precisem esperar na faixa adjacente de tráfego direto, bloqueando-a. As faixas de armazenamento devem prever, pelo menos, espaço para dois carros de passeio ou um carro e um caminhão (ou ônibus, se for mais frequente), onde houver mais de 10% de caminhões e ônibus. Os tapers devem ter de 30 a 54 m, dependendo da velocidade da via. Onde se dispuser de canteiros centrais largos, parte do canteiro pode ser usada para separar o tráfego de giro do tráfego direto.

e) Curvas horizontais e superelevação

Podem surgir problemas no projeto da superelevação em uma curva horizontal da rodovia, em interseções de áreas urbanas e suburbanas. Se a via secundária que atravessa a curva vier do seu lado externo, atinge primeiro a maior altura da seção e desce para a mais baixa. Em tempo chuvoso, os veículos da rodovia principal, que giram à esquerda, a partir do lado mais alto, correm o risco de

deslizar lateralmente sobre veículos que se aproximam, pelo lado oposto. A necessidade de superelevação, nessas situações, deve ser cuidadosamente avaliada.

f) Pedestres idosos

Estudos revelam que os idosos têm menor participação percentual em acidentes que os mais jovens, mas representam cerca de um décimo dos que são feridos e mais de um quarto das mortes de pedestres, sendo, portanto, muito mais sujeitos a serem mortos, se forem atingidos por um veículo, que os jovens. A maioria dos acidentes que os pedestres idosos sofrem ocorre durante o dia, nos dias úteis, nas interseções e em áreas urbanas.

Os dados envolvendo acidentes com idosos revelam características comuns. Aparentemente, os idosos aparecem em maior número nos acidentes, em que o veículo envolvido está andando em marcha à ré, principalmente em ruas, acessos a propriedades e áreas de estacionamento. Em interseções, parece sofrer maior risco, quando eles descem do meio-fio e são atingidos por veículos efetuando giros à esquerda ou saindo de uma interseção. Outros fatores que contribuem para acidentes de pedestres idosos incluem a presença de anúncios visuais e, à sua aparência, pouco perceptível, principalmente à noite e durante os meses de inverno, com a presença de sombras longas e ofuscamento, provocado pelos raios de sol com ângulos baixos. Os tempos das fases dos semáforos e a fé que os idosos depositam nos mesmos também parecem contribuir para acidentes. A permissão de giros de veículos à direita com o sinal vermelho e os giros à esquerda são, também, aspectos críticos do projeto, que afetam os pedestres idosos.

Engenheiros e planejadores devem procurar medidas a aplicar em áreas com uma grande concentração de idosos e de acidentes que os atingem, tais como locais de reunião ou retiro de idosos, shopping centers, áreas centrais e hospitais. A identificação desses locais é uma medida preliminar efetiva para lidar com esse problema.

Essas medidas incluem: maiores intervalos para os pedestres em sinais luminosos (semáforos), complementação com sinais sonoros, fases exclusivas para pedestres, cancelas, restrição ou proibição de giros à direita com o sinal vermelho, medidas de controle de tráfego específicas para a área, instalação ou melhoria dos passeios laterais e ilhas para refúgio. Devem ser avaliados os efeitos dessas medidas no tráfego de veículos.

g) Ilhas de refúgio e canteiros centrais

Ilhas de refúgio e canteiros centrais constituem áreas seguras para pedestres entre correntes de tráfego opostas ou em uma interseção. Devem ser delineados com marcas no pavimento (pintura,

tachões ou materiais contrastantes), ou ser dotados de meios-fios intransponíveis. Devem ter características que permitam seu uso por pedestres idosos.

Ilhas de refúgio ou canteiros centrais podem ser atravessadas em estágios sucessivos, permitindo observar separadamente o tráfego de cada sentido. Elas são instaladas usualmente em ruas largas, de várias faixas, em que o tempo para travessia exige que se interrompa o fluxo de veículos. Uma ilha de refúgio deve ser considerada, sempre que a largura da via, de meio-fio para meio-fio, exceder 25 m. Essa observação é especialmente importante onde houver número substancial de pedestres com deficiências ou idosos. Quando um local semaforizado for acionado por botoeiras, uma delas deve ficar na ilha. Essas ilhas devem ter pelo menos 2,50 m de largura e, em nenhum caso, menos que 1,20 m. Seu comprimento não deve ser menor que a largura da faixa de travessia e nunca inferior a 1,50 m. O nariz da aproximação da ilha deve receber tratamento que a torne bem visível para os motoristas.

h) Barreiras para pedestres

Estudos indicam que os atropelamentos respondem por uma em cada cinco mortes do tráfego e podem representar de 30 a 50% de todas as colisões nas áreas urbanas. Porém, devido ao fato da participação de pedestres ser maior nas áreas urbanas, constituem cerca de 50% dos acidentes com mortos em algumas cidades. Quase 40% das mortes ocorrem quando pedestres atravessam ruas entre interseções; os acidentes com feridos seguem a mesma tendência. Uma medida para evitar atropelamentos é o uso de barreiras para pedestres. Pode ser feita com correntes, cercas, telas, gradis, jardineiras, muretas, defensas ou outras medidas que separem os pedestres do tráfego de veículos. Essas barreiras podem conduzir os pedestres a locais com travessia segura e impedindo que atravessem em locais perigosos. Barreiras no canteiro central podem reduzir muito as travessias de meio de quadra e a presença de pedestres correndo na via. Podem ser instaladas exclusivamente como barreiras para pedestres ou ser incorporadas em barreiras do canteiro central, para separação de veículos.

Barreiras no passeio lateral normalmente são localizadas junto ao meio-fio, afastadas destes de, pelo menos, 0,30 m. Conduzem os pedestres a travessias seguras ou em nível diferente e impedem que atravessem em locais potencialmente perigosos. Barreiras de plantas não são recomendadas em uma área lateral sem outros obstáculos ou em passeios estreitos, em que possam impedir a circulação de pedestres.

Nas vias expressas urbanas, o tipo de barreira utilizado para impedir que o pedestre atravesse a via, mais comumente adotado, é uma barreira rígida com tela de proteção colocada ao longo da via.

i) Superfície do pavimento

Acidentes com tempo chuvoso são comuns. Aproximadamente 25% de todas as colisões, bem como 13,5% das colisões com mortes, ocorrem com pavimento molhado. Quando são estudados os acidentes em relação às características do pavimento, nos locais em que ocorrem, as interseções estão em terceiro lugar em número de batidas, em pavimentos molhados. Greides maiores que 3% ou menores que -3% apresentam maiores números de colisões que greides horizontais. O *Special Report 214* do TRB (*Designing Safer Roads*) informa que as interseções são os locais que mais exigem da relação pneu-pavimento. Quase todas as combinações pneu-pavimento provêm suficiente atrito para a execução das manobras usuais. As piores condições ocorrem quando um número elevado de veículos, com grande velocidade de aproximação, em pavimento molhado, tem que parar rapidamente.

O tipo do material da superfície, seu desgaste pelo uso ou estado de polimento pelo tráfego e a declividade da superfície são atributos importantes na definição do atrito entre o pneu e o pavimento. Ranhuras (*grooving*) podem ser feitas, para compensar parcialmente a textura deficiente do pavimento. A fricção entre o pneu e o pavimento afeta, de forma primária, as colisões que ocorrem quando o pavimento está molhado.

Uma grande cidade norte-americana empreendeu um programa para melhorar as interseções, depois de constatar que 70% dos acidentes ocorriam nas interseções, molhadas ou não. Foi aplicado um recapeamento de grande coeficiente de atrito, em mais de 800 interseções e em outras áreas potencialmente perigosas, como as proximidades das travessias de pedestres. O estudo do comportamento do projeto indicou 31% de redução dos acidentes. Embora o tratamento feito seja caro (resina de epoxi, com agregado calcinado de bauxita), os resultados compensaram economicamente. As aproximações das interseções são potencialmente indicadas para melhorias destinadas a reduzir os acidentes nos dias de chuva.

6.5.2. Aspectos operacionais

a) Travessias de pedestres

Quando necessária e localizada adequadamente, a marcação com pintura de uma travessia de pedestres (faixas de pedestres) pode apresentar os seguintes resultados:

- Servem, de uma forma limitada, como um aviso para lembrar aos motoristas que conflitos com pedestres podem ser esperados;
- Indicam aos pedestres o lugar mais seguro para atravessar;

- Limitam as travessias de pedestres a locais específicos;
- Ajudam a reforçar a regulamentação das travessias de pedestres.

Há travessias em que as faixas são úteis e outras em que são danosas para a segurança dos pedestres. Geralmente as travessias dotadas de faixas pintadas são mais benéficas em interseções semaforizadas, com grande volume de pedestres, travessias de meio de quadra controladas por semáforos, incluindo fases específicas para pedestres, e travessias junto a escolas, que são controladas por adultos ou policiais, durante os períodos de entrada e saída das aulas. As faixas devem ser pintadas onde há necessidade de indicar o lugar adequado para a travessia, para evitar dúvidas e confusão por parte dos pedestres e motoristas. Critérios relativos aos volumes de pedestres nas travessias podem ser encontrados na publicação *Investigation of Exposure Based Pedestrian Accident Áreas: Crosswalks, Sidewalks, Local Streets, and Major Arterials* – FHWA – 1987.

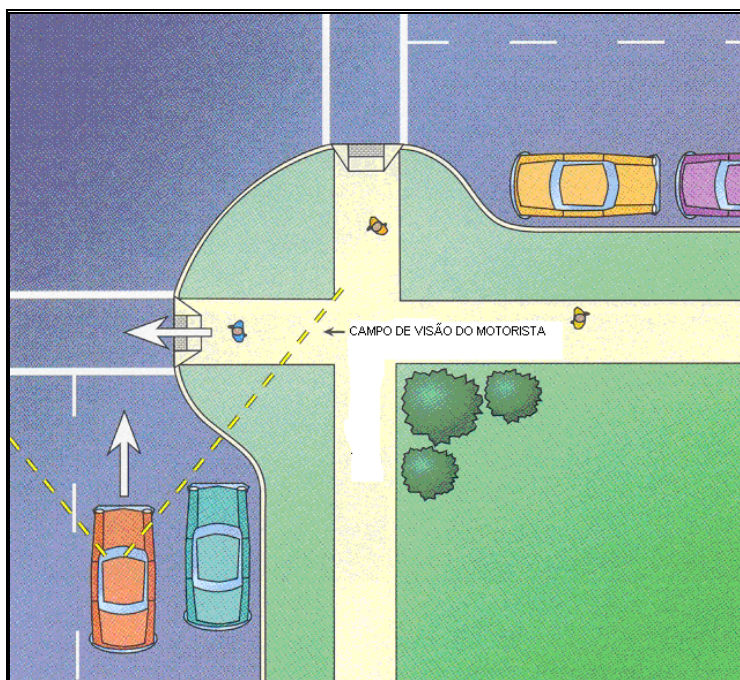
Travessias de pedestres em canteiros com meios-fios também exigem atenção. Frequentemente, o canteiro central serve como área de refúgio para pedestres. É desejável que o meio-fio seja rebaixado, para permitir a passagem de cadeiras de rodas. A largura desejada é de 2,50 m e a mínima é 1,20 m, para se tenha um abrigo seguro para pedestres com deficiências.

As faixas para pedestres podem ser de três tipos:

- Tipo paralela (linhas paralelas, limitando a faixa de travessia);
- Tipo zebrada (linhas paralelas, limitando a faixa de travessia, ligadas por transversais igualmente espaçadas);
- Pintura de toda a área a ser utilizada para travessia.

Nas faixas zebradas, a largura das linhas varia de 0,30 a 0,40 m e o espaçamento entre elas, de 0,30 a 0,80 m. A largura mínima das faixas deve ser de 3,00 m, podendo variar em função do volume de pedestres e da visibilidade.

Pesquisas indicam problemas de segurança em travessias em meio de quadra. Se a travessia não puder ser evitada, pré-sinalização combinada com sinalização suspensa sobre a travessia é a forma mais eficiente de alertar o motorista. Extensões de calçadas (*bulb-outs*) são adequadas para controlar o estacionamento e ajudar a percepção do pedestre (Figura 40).

Figura 40 – Extensão de calçada

b) Sinais sonoros para os pedestres

Sinais sonoros para pedestres são dispositivos conectados ao controle dos semáforos que emitem um som, para alertá-los de que o intervalo para travessia começou. O sinal é particularmente importante para os idosos, que frequentemente são lentos em iniciar sua travessia em uma interseção. Com essa informação complementar, os pedestres podem começar a travessia imediatamente, facilitando sua conclusão antes da mudança do sinal. Com base na experiência americana, sinais auditivos são viáveis, mas não devem ser instalados em qualquer lugar. Devem ser seguidos os seguintes critérios, para sua instalação:

- A interseção deve ter sinalização semafórica (sinais luminosos);
- O mecanismo de controle deve permitir sua adaptação;
- O sinal audível também pode ser emitido nos casos de acionamento pelo pedestre;
- A localização do sinal sonoro deve ser audível, levando em conta as condições de tipo de uso da área lateral, do nível de ruídos local e da aceitação pelos habitantes;
- Deve ser demonstrada a sua necessidade.

Sinais sonoros não são usualmente utilizados no Brasil, a não ser em travessias de ferrovias e em portas de garagens, para avisar saídas ou entradas de veículos. A avaliação dos fatores de interesse

deve incluir segurança da interseção, uso de pedestres, condições do tráfego e condições de mobilidade.

c) Fases do semáforo para giros à esquerda

Manobras de giro à esquerda em interseções semaforizadas podem começar de uma faixa auxiliar ou da faixa esquerda da via (usada em conjunto com o tráfego direto). Essas manobras são executadas das seguintes maneiras:

– *Giros protegidos*: feitos a partir de uma faixa reservada para giros à esquerda, durante uma fase especial da sinalização, em que o tráfego oposto conflitante é obrigado a parar;

– *Giros permitidos*: feitos através de intervalos do tráfego oposto, que tem preferência. Se iniciarem a partir de uma faixa compartilhada com o tráfego direto, pode ser provocado algum congestionamento;

– *Giros sem oposição*: não necessitam de uma fase especial, porque não têm que dar preferência a tráfego em sentido contrário. Isso ocorre em interseções com três ramos, interseções de rodovias de sentido único, ou quando os movimentos são controlados por fases independentes, para cada ramo.

A necessidade de uma fase para giros à esquerda é baseada no volume de giros à esquerda, volume do tráfego oposto, duração do ciclo e outros fatores. Onde o tráfego que gira à esquerda exigir uma fase independente (giros protegidos), a mesma pode preceder ou suceder a fase correspondente ao tráfego direto. Neste caso, em que os giros são executados com a interrupção do tráfego direto no sentido oposto, tem-se a situação mais segura, mas que resulta em maiores demoras e eventuais infrações. Esta fase aplica-se, também, a pedestres e ciclistas.

Quando se permitem giros à esquerda, quando há um intervalo suficiente na corrente oposta, o ciclo do sinal é menor, reduzindo a demora. Trata-se de uma técnica eficiente, embora ofereça mais segurança à existência de uma fase de proteção dos giros à esquerda.

Os critérios que se seguem devem ser atendidos para que se adote diretamente a fase de proteção de giros à esquerda, se o engenheiro de tráfego considerar que giros, através de intervalos do tráfego oposto, possam reduzir a segurança:

– É deficiente a visão do tráfego oposto, devido à curvatura da rodovia (horizontal ou vertical) ou de veículos do sentido oposto, que giram à esquerda;

– A velocidade limite do tráfego oposto é superior a 70 km/h;

- O tráfego que gira à esquerda tem que atravessar três ou mais faixas do tráfego direto oposto;
- A fase de permissão está correntemente em uso e o número de colisões de veículos que giram à esquerda, incluindo pedestres e ciclistas, causados por veículos que giram à esquerda, é superior a 6 por ano;
- Existe uma geometria pouco comum no local da interseção, o que torna o uso da fase de permissão de giros à esquerda particularmente confusa ou insegura;
- A aproximação da interseção tem duas ou mais faixas de giro à esquerda.

O Manual de Semáforos e o Manual de Sinalização Semafórica do CONTRAN fornecem orientação para determinação da fase adequada.

d) Giro à direita (esquerda) com sinal vermelho

Os giros à direita com sinal vermelho, em interseções semaforizadas, são frequentemente permitidos e têm-se revelado uma forma efetiva de reduzir demoras, evitar frustração dos motoristas e baixar o consumo de combustível. Há realmente algumas interseções em que devem ser colocados sinais proibindo esses giros, devido a conflitos com pedestres e ciclistas, pouca distância de visibilidade ou um histórico documentado de colisões. Distância de visibilidade limitada é o critério básico para determinação da conveniência de proibir esses giros. Uma das maneiras de aumentar a distância de visibilidade dos motoristas que giram à direita com sinal vermelho, proveniente de uma via de duas ou mais faixas, é recuar, cerca de 1,50 a 3,00 m, as linhas de espera das faixas da esquerda e/ou central.

Os giros à esquerda com sinal vermelho em interseções semaforizadas são menos usados, mas podem ser permitidos em algumas áreas, onde duas vias de sentido único se interceptam. Também reduzem as demoras, as frustrações dos motoristas e o consumo de combustível, mas podem não ser adequadas para todas as interseções. O Manual de Sinalização Rodoviária do DNIT e o Manual do CONTRAN fornecem sinais apropriados para ambos os tipos de giro, à direita e à esquerda.

e) Iluminação

Devem ser identificados os locais críticos que necessitam de iluminação adequada. Sua justificativa pode ser um número elevado de acidentes noturnos, em relação ao total de acidentes, ou um registro de acidentes ou congestionamentos em locais com visibilidade inadequada, passíveis de serem reduzidos por iluminação. Tais locais incluem:

- Área de entrelaçamento;

- Rampas de entrada e saída;
- Cruzamentos apresentando movimentos conflitantes de tráfego ou uma canalização deficiente do tráfego;
- Ruas urbanas, apresentando conflitos com pedestres;
- Cruzamentos rodoferroviários em nível.

Os suportes das luminárias devem ser construídos e colocados, de forma tal a oferecer o menor perigo possível aos veículos desgovernados. Os postes altos ou a iluminação em torres reduz a quantidade de suportes exigidos, resultando também em sua localização em áreas seguras. Esse tipo de iluminação tem demonstrado a sua eficácia, especialmente nas áreas dos entroncamentos. Contudo, todo o cuidado deve ser tomado, no sentido de não localizar postes na linha de visão normal dos motoristas.

6.6. TRAFFIC CALMING

"*Traffic Calming*" é um conjunto de técnicas destinadas a amenizar os impactos do tráfego na vida urbana, através de alterações das vias existentes, por meio da implantação de dispositivos físicos que provoquem redução das suas velocidades, volumes e o aumento da segurança. Em princípio, pode ser aplicado aos níveis de rua local, corredor ou da cidade como um todo, mas normalmente não inclui vias arteriais. Geralmente é dada maior ênfase à redução de velocidades e é complementada com a implantação de dispositivos físicos, com leis regulando estacionamentos e velocidades.

O gerenciamento do tráfego em áreas residenciais, caso particular de *traffic calming*, consiste no uso de dispositivos físicos e outras medidas, incluindo regulamentação para influenciar a operação dos veículos, de modo a tornar as ruas locais mais seguros e agradáveis. Programas de gerenciamento são normalmente elaborados para reduzir velocidades, ruídos dos veículos, impactos visuais e volumes do tráfego de passagem em áreas residenciais, por meios psicológicos, visuais, sociais e legais.

A velocidade do tráfego é um aspecto crítico da segurança dos pedestres. Pesquisas mostram que, com exceção de crianças e idosos, os pedestres não costumam sofrer ferimentos graves quando atingidos por veículos com velocidades menores que 30 km/h, mas, acima destas velocidades, correm risco de morte ou de sofrer ferimentos graves. A aplicação dos programas de gerenciamento do tráfego com a inclusão do *traffic calming* aumenta a probabilidade de sobrevivência dos pedestres que forem atropelados, caso não se consiga eliminar esses acidentes.

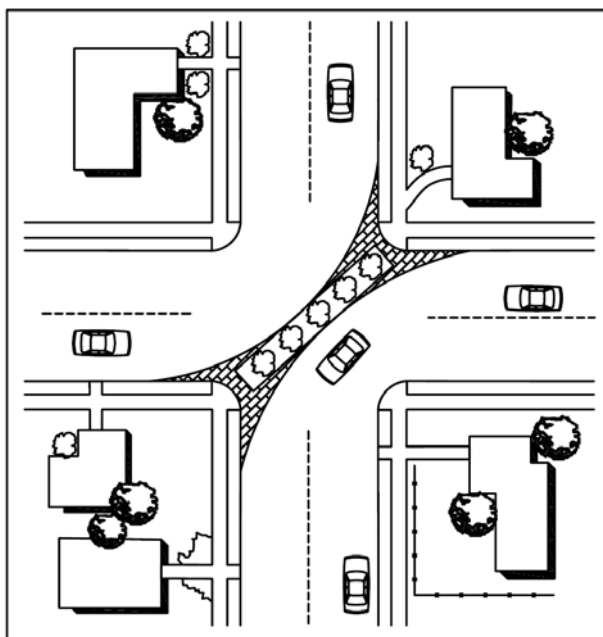
São apresentadas a seguir considerações gerais relativas a esses programas:

- A velocidade é mais importante que o volume de tráfego e deve ser considerada com prioridade;
- O envolvimento da população local é importante para o sucesso do programa;
- As medidas a serem tomadas devem se enquadrar e melhorar o ambiente;
- Os projetos devem ser facilmente previsíveis e fáceis de entender, pelos motoristas e demais usuários;
- Devem ser aplicadas soluções bem projetadas, baseadas nas informações disponíveis sobre sua aplicação e seus efeitos;
- As áreas de aplicação e seus elementos devem ser adequadamente sinalizados, marcados com pintura e iluminadas, para que sejam visíveis por motoristas, ciclistas e pedestres;
- Os dispositivos implantados devem ser espaçados, de modo a terem o efeito desejado na velocidade, nem tão longe, que tenham efeito limitado, nem tão perto, que sejam um aborrecimento e impliquem em custos desnecessários. Geralmente necessitam ser espaçados cerca de 100 a 150 m;
- As soluções adotadas não devem ser subdimensionadas, para evitar que não cumpram seus objetivos. Rampas muito baixas nas ondulações transversais e curvas excessivamente suaves, nas chicanes, podem não atender aos objetivos desejados e parecer um desperdício do dinheiro público;
- Se uma medida tomada provocar desvio de tráfego, devem ser considerados os efeitos resultantes, para evitar que se transmita simplesmente um problema de um lugar para outro;
- Os dispositivos implantados devem ser adequadamente conservados, para que atinjam seus objetivos;
- O aspecto estético deve ser considerado, de modo a não enfear o local e criar má vontade com sua implantação;
- Os dispositivos não podem constituir perigo para ciclistas;
- Não devem ser criados empecilhos ao acesso de veículos e equipamentos de emergência (polícia, ambulâncias, bombeiros etc.).

6.6.1. Técnicas para gerenciamento do tráfego em áreas residenciais

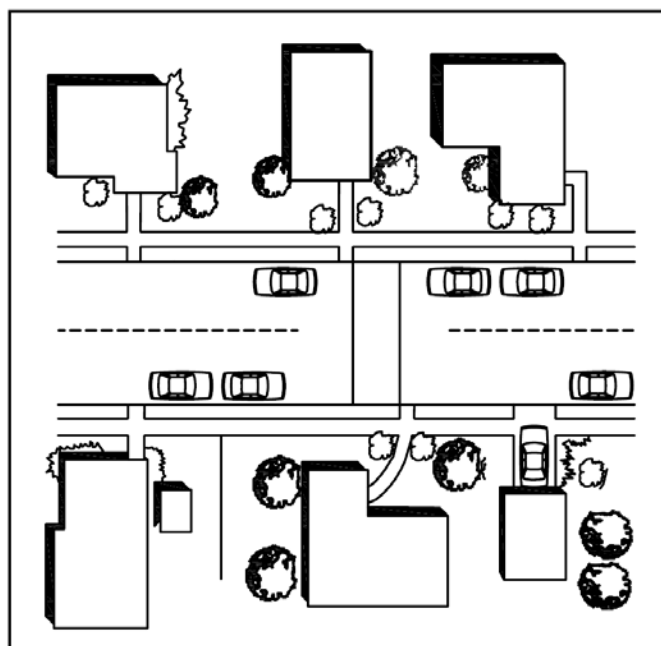
a) Desviadores de tráfego

Em áreas residenciais, com ruas dispostas em malhas retangulares, pode ser conveniente restringir correntes de tráfego direto. Um desviador de tráfego (*traffic diverter*) é um obstáculo colocado em uma interseção, ou através dela, para desviar o tráfego. Por exemplo, a Figura 41 mostra um desviador diagonal que transforma a interseção em duas ruas sem conexão, efetuando, em cada uma delas, um giro de 90°. Seu objetivo principal é dificultar o deslocamento direto em uma determinada área residencial, reduzindo os volumes de tráfego dessas vias pelo seu desvio através de outras ruas da vizinhança. As ilhas criadas podem ser usadas para paisagismo e melhoria estética da área. Podem, também, ser usadas como áreas de refúgio, para travessias de pedestres. No projeto, devem ser usados materiais que só possam causar pequenos danos, se forem atingidos por um veículo desgovernado: arbustos para paisagismo e não árvores, postes de sinalização quebráveis e meios-fios transponíveis. Desviadores de tráfego são frequentemente usados para reduzir velocidades.

Figura 41 – Desviadores de tráfego

b) Fechamento de ruas

O fechamento de uma rua é feito por uma barreira que elimina todo o tráfego de passagem dos veículos motorizados, permitindo apenas a travessia de pedestres e ciclistas (Figura 42). É aumentada significativamente a segurança, por serem reduzidos substancialmente os volumes de tráfego e as velocidades nas proximidades da interrupção. O tráfego direto impedido é transferido para outras áreas de tráfego local. O fechamento de ruas pode contrariar outros objetivos dos planos de transporte

e de uso do solo, que encorajem a criação de malhas de ruas abertas, paralelas e proximamente perpendiculares. O bloqueio de um dos sentidos de tráfego permite o tráfego de passagem do sentido oposto. O tráfego bloqueado é desviado, mas permite o acesso de veículos de emergência e de moradores locais, que violem a proibição. Os segmentos de ruas criados pelo fechamento de uma rua costumam ser chamados de rua sem saída ou *cul-de-sac*, quando provida de área suficiente para que um veículo execute um giro de retorno.

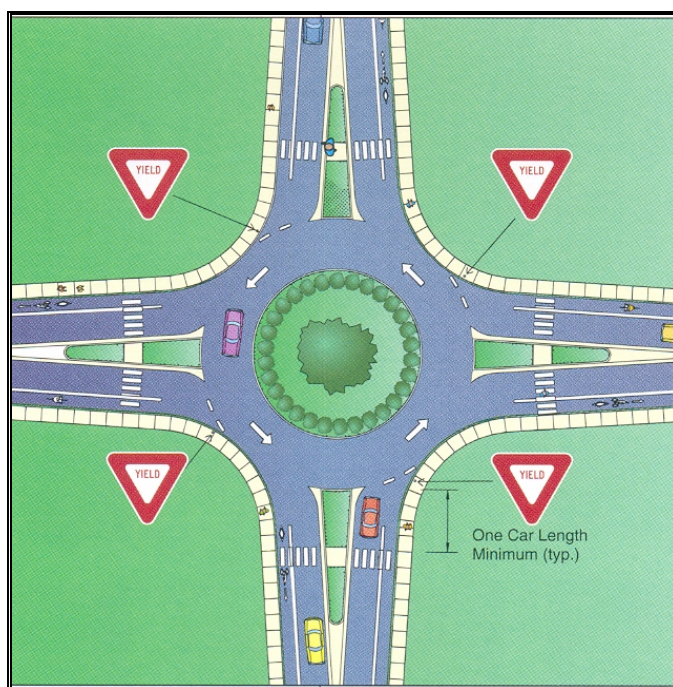
Figura 42 – Fechamento de rua

c) Acessos de conjuntos residenciais

Os acessos de conjuntos residenciais incluem uma grande variedade de informações, tais como identificação da área, sinais, monumentos, paisagismo, tipo especial de pavimento, acessos mais estreitos e outras características (Figura 43). Esses elementos informam aos motoristas que estão entrando em uma área residencial, a partir de uma via em que o tráfego tem maiores velocidades.

Figura 43 – Acesso de conjunto residencial

d) Rótulas modernas

As rótulas modernas são interseções circulares em que é dada preferência ao tráfego que percorre a rótula, em detrimento dos que têm acesso à mesma (Figura 44). O raio de curvatura da ilha central define a velocidade com que a rótula é percorrida, funcionando como um redutor de velocidade. Para maiores informações, consultar o Manual de Projeto de Interseções do DNIT.

Figura 44 – Rótula moderna

6.6.2. Métodos utilizados para "*Traffic Calming*"

a) Minirrótulas

São pequenas rótulas modernas, introduzidas no centro de interseções de ruas locais, e os seus acessos são controlados por sinais de parada obrigatória ou de preferência para o tráfego na rotatória (Figura 45). Podem ser usadas para atender aos objetivos do *Traffic Calming*. De preferência, não devem situar-se em itinerários de ônibus ou caminhões, veículos que exigem maiores larguras de pista para suas conversões. Criam uma condição, em que os veículos são obrigados a reduzir suas velocidades nas interseções, mas podem ter influência negativa no deslocamento de crianças, idosos e pedestres com deficiências. As minirrótulas devem ser projetadas, com base nas características e dimensões do veículo de projeto, de modo que seu deslocamento não invada as áreas destinadas aos pedestres.

Figura 45 – Minirrótula

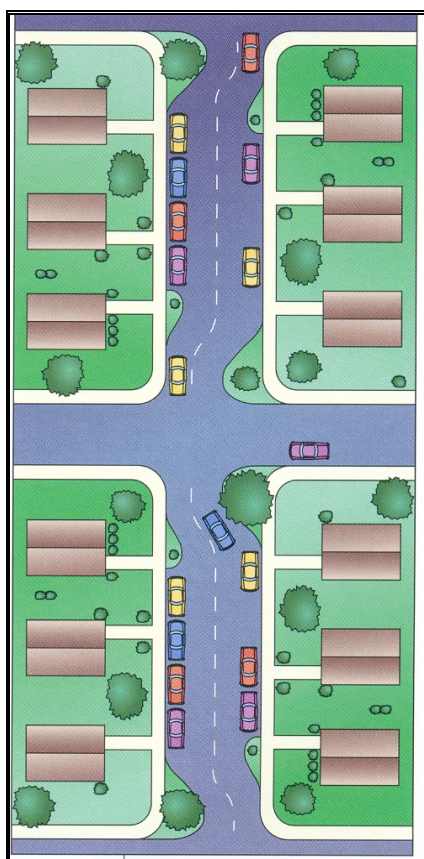
A maioria dos motoristas tende a seguir a menor trajetória através da rótula e, quando giram à esquerda, começam seu giro antes de atingir a ilha central, ao invés de prosseguir com a trajetória circular. Isso pode afetar as expectativas dos pedestres e outros motoristas que estão atravessando a interseção. Por esse motivo, é melhor não adotá-las em interseções com grande volume de giros à esquerda.

As minirrótulas das áreas residenciais são frequentemente dotadas de paisagismo, o que torna seu aspecto mais agradável. O paisagismo deve ser projetado, de modo a não bloquear a visão entre motoristas e pedestres. São sugeridas árvores com copadas altas juntamente com arbustos que não excedam a altura de 0,60 a 0,90 m. É recomendável usar meios-fios transponíveis no perímetro da

ilha central, para permitir que eventuais veículos, que excedam a largura adotada no projeto, subam na borda da ilha, como pode ocorrer com veículos especiais, atendendo a emergências.

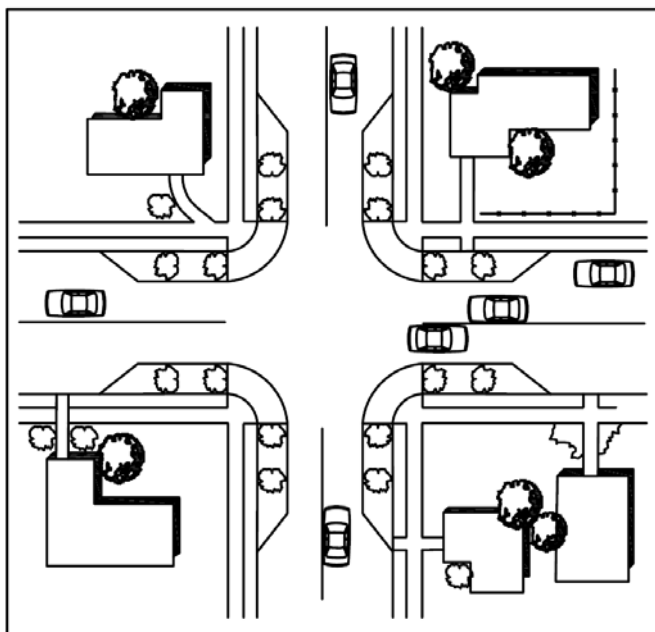
b) Chicanes

Chicanes são alargamentos das calçadas ou ilhas (projetadas para fins de paisagismo ou para definir os trechos de estacionamento junto ao meio-fio), alternando de lado na rua, para modificar o aspecto de largas faixas retas das ruas residenciais longas. Estudos têm mostrado que podem ser muito eficientes na redução de volumes e velocidades de tráfego. Não impedem o acesso de veículos de maiores dimensões, inclusive os de emergência. Podem ser tornados bem visíveis, com sinais, meios-fios pintados, paisagismo, refletores e iluminação das ruas. A Figura 46 mostra um exemplo de sua aplicação ao longo de ruas de uma área residencial. Observa-se que não é permitido o estacionamento próximo às interseções.

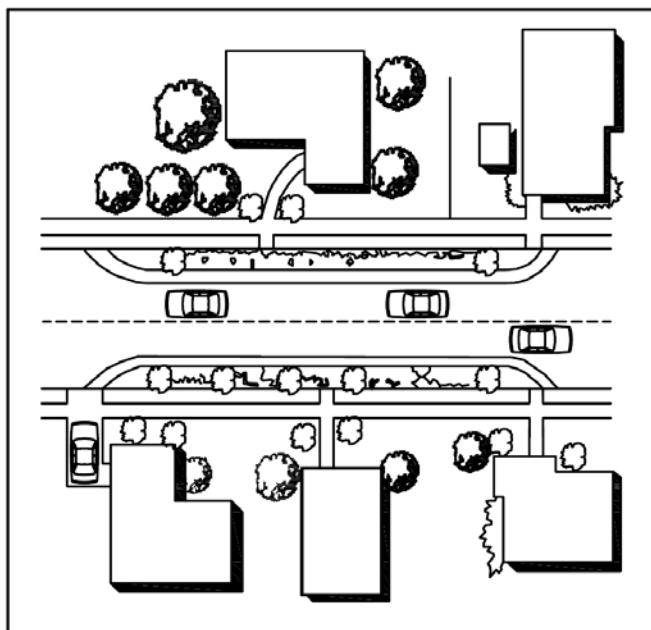
Figura 46 – Chicanes

c) Alargamentos das calçadas em esquinas

Alargamentos das calçadas em esquinas (bulbos) podem ser feitos de várias maneiras. Devem ser usados apenas onde veículos de maiores dimensões possam acompanhá-los, sem subir nos meios-fios e invadir o caminho dos pedestres. Esses alargamentos reduzem as larguras a serem atravessadas pelos pedestres junto às esquinas e em meio de quadra, e permitem aos motoristas melhor

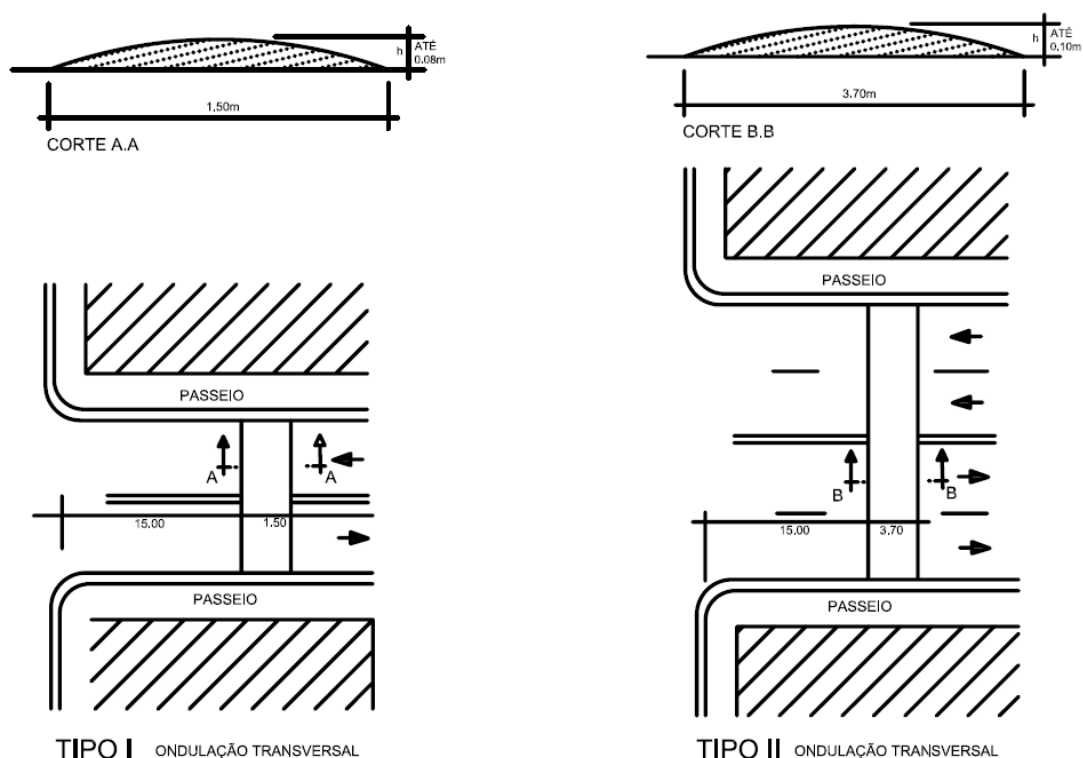
visualização dos pedestres, aumentando seu conforto e segurança na travessia. São frequentemente usados em conjunto com o paisagismo, para melhor caracterizar as áreas de estacionamento e, também, para adicionar espaço para rampas de acesso ao passeio. Ajudam a identificar mais claramente as travessias de meio de quadra, para os pedestres e motoristas, mas deve-se tomar cuidado em não restringir os movimentos das bicicletas. A Figura 47 mostra alargamentos de calçadas, típicos em uma interseção.

Figura 47 – Alargamentos das Calçadas em Esquinas

d) Ruas estreitas

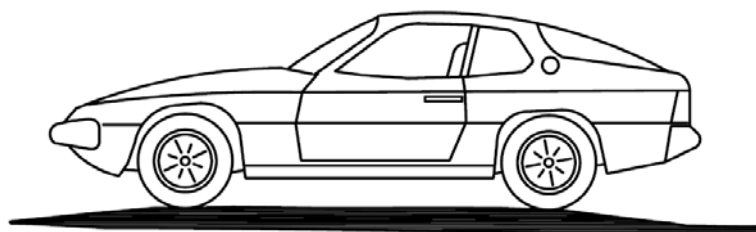
Ruas estreitas ou que dêem essa impressão são eficientes como redutores de velocidades, embora possam ter sua capacidade reduzida (Figura 48). Geralmente, as prefeituras locais é que são responsáveis pela permissão de reduzir larguras de ruas. Ruas estreitas não só trazem o benefício de menores velocidades, como também dão um ar mais atraente e agradável aos pedestres. Além disso, podem ainda provocar reduções nos custos de construção e manutenção. Árvores plantadas ao longo dos lados de uma rua dão a impressão de um local fechado e podem, também, resultar em menores velocidades. Estacionamento junto ao meio-fio, alargamento das calçadas, separação dos passeios de pedestres por canteiros plantados e faixas para ciclistas, aproveitando parte de uma rua existente, dão a impressão geral de estreitamento da rua.

Figura 48 – Rua estreita

e) Ondulações transversais (lombadas/quebra-molas)

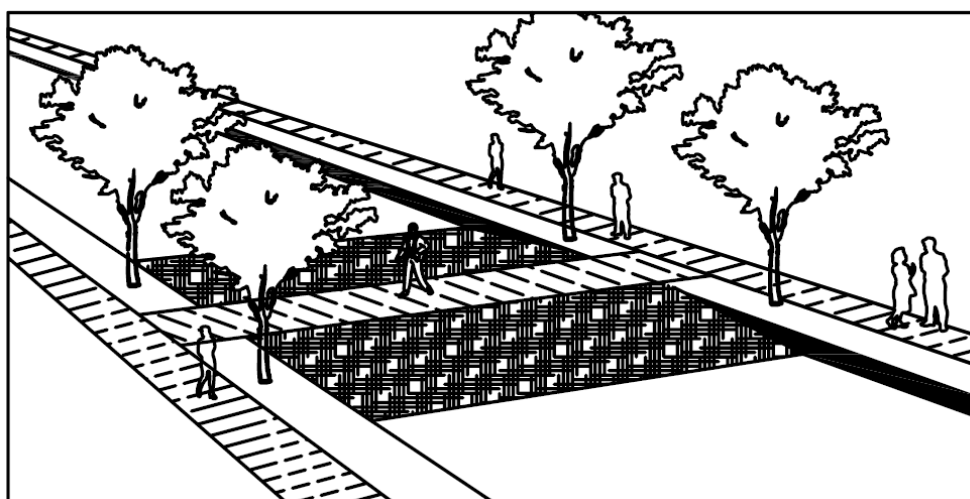
As ondulações transversais são elevações arredondadas executadas transversalmente à via e não têm o objetivo de servir para travessia de pedestres. Devem ser utilizadas em locais em que se pretende reduzir as velocidades dos veículos de forma imperativa, principalmente onde há grande movimentação de pedestres. São normalmente localizadas em áreas residenciais, em ruas locais ou coletoras, com volumes situados entre 300 e 3.000 veículos por dia. Quando são bem projetadas, permitem que os veículos as ultrapassem com velocidades baixas, da ordem de 30 km/h, com desconforto mínimo. Para velocidades mais elevadas, é grande o desconforto. Em vias coletoras de baixa velocidade, podem ser projetadas para atender a velocidades até 45 km/h. Cabe observar, entretanto, que pessoas com problemas de coluna ou pescoço, ou doenças como artrite, têm levantado objeções quanto a algumas das medidas constantes do processo de *traffic calming*. Frequentemente, essas pessoas são passageiros e não têm controle da velocidade do veículo. As lombadas devem ser projetadas, de modo a não impedirem o tráfego de veículos baixos. As lombadas são regulamentadas no Brasil pela Resolução n° 39 do CONTRAN, de 21/05/98, na qual se estabelecem os padrões e critérios para instalação de ondulações transversais nas vias públicas. A seguir são apresentadas, na Figura 49, as seções transversais dos dois tipos de lombadas regulamentados.

Figura 49 – Lombadas tipos I e II

f) Speed tables

Speed tables são redutores de velocidade com topo em nível e acessos por rampas planas, feitos geralmente com tijolos ou materiais equivalentes na parte do topo (Figura 50). De um modo geral, são suficientemente longos, para que acomodem os dois eixos de um carro de passeio no seu topo. Sua extensão maior e rampas de acesso mais suaves que as utilizadas nas ondulações transversais permitem velocidades mais altas que as das ondulações. Os tijolos ou materiais com textura diferente da existente na via melhoram sua aparência, chamando a atenção dos motoristas. Atuam favoravelmente na redução da velocidade, aumentando a segurança.

Figura 50 – Speed Table

g) Travessias para pedestres ao nível dos passeios

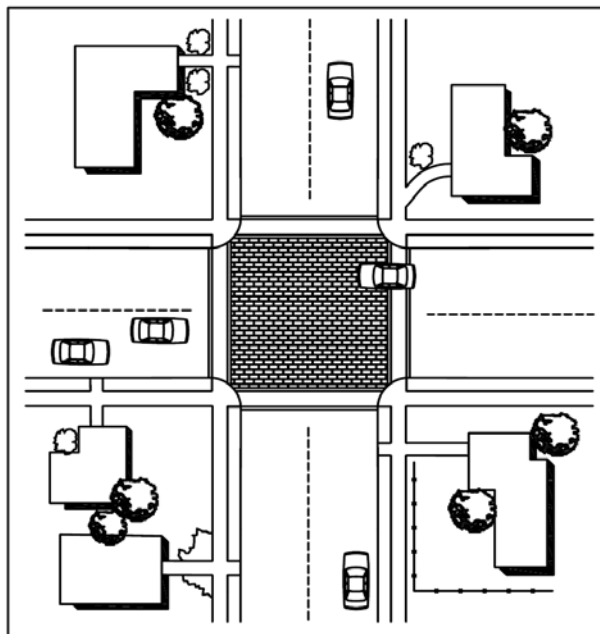
Travessias para pedestres ao nível dos passeios funcionam como redutores de velocidade e são mais largas que as lombadas. Devem ter a largura necessária para atender ao fluxo previsto de pedestres. São adequadas para travessias de ruas no meio de uma quadra, vias coletoras e em entradas e saídas de aeroportos, shopping centers e locais de acampamento. Devem ser marcadas com materiais que chamem a atenção ou com textura diferente do pavimento. É fundamental que sejam dotadas de sinalização de advertência, preferivelmente com sinais localizados a, pelo menos, 100 metros da travessia e faixas de pedestres, de acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do CONTRAN. A Figura 51 mostra um exemplo desse tipo de travessia.

Figura 51 – Travessia para pedestres ao nível dos passeios

h) Interseções ao nível dos passeios

As interseções elevadas ao nível dos passeios têm a vantagem de reduzir as velocidades dos veículos nos locais mais perigosos para travessia de pedestres (Figura 52). São frequentemente pavimentadas com material contrastante, para fazer com que sua visão chame a atenção dos motoristas que se aproximam. O uso de pavimento especial também ajuda a delinear a área de travessia de pedestres.

Essas interseções mais elevadas criam uma área claramente destinada ao trânsito de pedestres. Os motoristas que se aproximam vêem que a interseção não é um local projetado para rápida travessia, o que faz com que reduzam a velocidade e dêem preferência à passagem dos pedestres. São tipicamente destinadas às áreas urbanas, mas não são apropriadas para vias com velocidades elevadas e vias arteriais. Atendem, com facilidade, às exigências de passagens de pedestres, porque as travessias são extensões naturais das calçadas, sem apresentar mudanças de greide. Requerem, contudo, que sejam advertidos da chegada às linhas de borda, por indicações claramente percebidas,

inclusive por pessoas com deficiências visuais. A colocação dos pontos de coleta dos drenos pode ser simplificada, se as águas superficiais puderem ser drenadas a partir do centro da interseção.

Figura 52 – Interseções no nível dos passeios

Informações adicionais podem ser obtidas na publicação *Traffic Calming State of the Practice* – FHWA – 1999.

6.7. OUTROS ELEMENTOS DE PROJETO

6.7.1. Passarelas e passagens subterrâneas

A separação dos pedestres dos veículos, por meio de estruturas de greides diferentes, é a forma mais efetiva de protegê-los. Essas estruturas devem ser adequadamente projetadas e localizadas. A justificativa de uma separação de greides é função dos volumes de pedestres e veículos, das velocidades dos veículos e do tipo de área em que se situa.

De um modo geral, o local de sua implantação deve ficar, pelo menos, a 180 m da interseção segura mais próxima. Uma interseção é considerada segura se os dispositivos de controle de tráfego obrigam os veículos a parar durante intervalos de tempo adequados, para que os pedestres possam atravessar a via.

O projeto básico de separação de greides inclui a escolha dos materiais e tipos de acabamento, sua duração, condições de manutenção, resistência ao vandalismo, iluminação, para fins de segurança, acessibilidade aos pedestres com deficiências, guarda-corpos para proteção, telas e barreiras para canalização que possam ser necessárias para encorajar o uso do acesso. Uma tela de proteção pode

ser necessária em passagens superiores, para impedir que objetos possam ser derrubados em veículos passando embaixo e possíveis quedas de pedestres.

6.7.2. Acomodação de pedestres e bicicletas em pontes e viadutos

As passagens para pedestres e bicicletas são normalmente mais próximas do tráfego de veículos motorizados nas pontes e viadutos. Por esse motivo, é importante que sejam separadas do mesmo. Em estruturas existentes que não tenham barreiras separando o tráfego de veículos dos pedestres e ciclistas, como mostrado na Figura 53, é desejável incluir uma separação, por ocasião da execução de obras de recapeamento, restauração ou reconstrução. Frequentemente, isso se consegue com uma barreira na borda da passagem de pedestres, junto à faixa de tráfego de veículos. A Figura 54 mostra uma combinação adequada de barreira e defensa entre a via e a passagem de pedestres ou ciclovia.

Figura 53 – Passeio em uma ponte sem barreira entre o tráfego e os pedestres

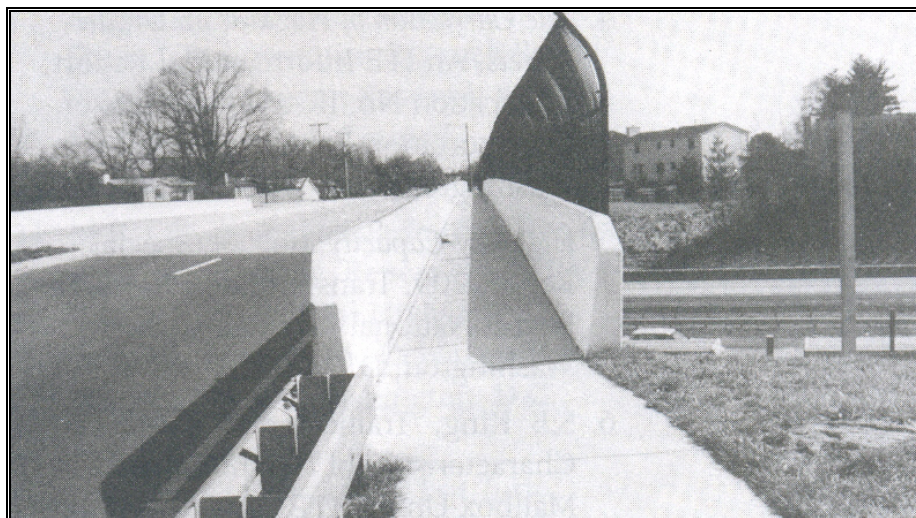
Figura 54 – Passeio em uma ponte com barreira entre o tráfego e os pedestres

Os extremos das barreiras, em estruturas urbanas, normalmente requerem um tratamento especial das áreas de aproximação. Nos locais em que a velocidade de operação excede 50 km/h, uma transição a prova de choques e tratamentos das extremidades das barreiras devem ser feitos. Para velocidades menores, extremidades de alturas decrescentes são adequadas, podendo as mesmas se afastar gradualmente da via (Figura 55). Os procedimentos para a elaboração de projetos de barreiras são estabelecidos na Norma DNIT 109/2009 – PRO.

Figura 55 – Tratamento do extremo de uma barreira em estruturas urbanas, para velocidades menores que 50 km/h

7. MEDIDAS DE MANUTENÇÃO NECESSÁRIAS À SEGURANÇA

7. MEDIDAS DE MANUTENÇÃO NECESSÁRIAS À SEGURANÇA

Não se pode conseguir segurança adequada para uma rodovia sem um programa de manutenção bem pensado e bem executado. Dispositivos de segurança bem projetados, porém mal instalados ou mal conservados podem ser inúteis. Embora muitas medidas de segurança sejam projetadas, de modo a dependerem o menos possível de manutenção, algumas necessitam de verificação periódica. Por exemplo, postes quebráveis e suportes de sinais, defensas metálicas e outros tipos de barreiras serão atingidos, de tempos em tempos, e necessitam de reparos ou substituição. Quase todos os dispositivos de segurança e características geométricas requerem algum grau de atenção e de inspeção.

Devido ao fato de serem limitados os recursos e mão-de-obra necessários para a conservação de rodovias, a maior prioridade deve ser dada às condições críticas para sua operação segura. O pessoal de manutenção deve poder assegurar que reparos e conservação da pista de rolamento, dos acostamentos e da infraestrutura sejam prontamente atendidos.

Esta seção identifica fatores relevantes da manutenção de diferentes aspectos da segurança e da operação de uma rodovia e apresenta orientação para a elaboração das medidas de manutenção necessárias.

7.1. PLANEJAMENTO PARA CONTROLE DO TRÁFEGO

Quando as operações de manutenção forem realizadas pelas entidades rodoviárias, pelos seus empreiteiros ou por outras agências, cujas instalações ocupem a faixa de domínio, tais como as companhias de utilidades públicas, devem ser preparados, durante a fase do projeto, planos apropriados para controlar o tráfego por ocasião dos trabalhos, os quais só devem ser alterados após uma cuidadosa consideração dos seus efeitos na segurança. A conservação de rotina deve ser empreendida após planejamento e preparação adequados, que levem em consideração a segurança, não só do público que viaja, mas também das turmas que executam a manutenção.

Os planos apropriados para controlar o tráfego nas zonas atingidas pela manutenção devem ser preparados e aprovados antes de se iniciarem os trabalhos. Os planos devem incorporar certa flexibilidade, no sentido de acomodar algumas mudanças imprevistas nos horários de trabalho ou modificações no tráfego.

Devido ao fato de que as operações de manutenção, em qualquer estrada, se apresentam como perigosas, aumentando nas rodovias de alta velocidade, devem ser envidados sérios esforços no sentido de desenvolver e utilizar equipamentos e materiais que minimizem a frequência e o tempo exigidos para tais operações, esquematizando a conservação necessária, de forma tal a obstruir, o mínimo possível, o tráfego.

Qualquer trabalho de manutenção, durante o qual o tráfego seja mantido, deve contar com um plano de operação bem elaborado e executado. Responsabilidades devem ser atribuídas, com a finalidade de assegurar a supervisão apropriada da colocação, relocação e remoção dos dispositivos de controle do tráfego, à medida que os trabalhos prosseguem. A supervisão deve ser constante e consistente, desde o primeiro dia de trabalho até o último.

Para os trabalhos empreitados, torna-se essencial a designação de um representante do empreiteiro e outro da entidade pública, os quais devem ser investidos da responsabilidade de controlar o tráfego durante a execução das obras. Deve ser realizada por ambos uma inspeção diária, no início e no término dos trabalhos de cada dia. Devem ser realizadas, também, inspeções noturnas, com a finalidade de avaliar a adequabilidade da iluminação e da refletorização. Os elementos responsáveis devem estar disponíveis à noite, nos fins de semana e durante outros períodos em que não haja trabalho em andamento.

Quando o trabalho de conservação estiver sendo executado, um dos integrantes da turma deve ser responsável pela manutenção em ordem dos vários dispositivos de controle do tráfego, a fim de assegurar sua aplicação, enquanto os trabalhos estiverem em andamento, e sua pronta retirada após a conclusão dos mesmos.

Um plano cuidadosamente elaborado para a movimentação do tráfego, acrescido de vigilância constante das obras pelos responsáveis pela execução do plano, pode produzir um fluxo de tráfego seguro e rápido, durante as operações de manutenção.

7.2. CONTROLE DO TRÁFEGO

Nas aproximações das áreas onde são realizadas obras de manutenção, deve-se condicionar à nova situação a circulação, que deve ser executada segundo velocidades adequadas e de acordo com esquemas de circulação capazes de advertir aos motoristas, canalizando o tráfego com segurança e eficácia. Para possibilitar o alcance desse objetivo, toda a área de influência da obra na rodovia deve ter adequada sinalização, compreendendo:

- Área de pré-sinalização;
- Área de sinalização de posição;
- Área de sinalização de fim de obras.

A administração e orientação apropriadas do tráfego que passa durante as operações de manutenção de uma rodovia constituem uma tarefa de engenharia. A meta deve ser dirigir o tráfego através de tais áreas, por meio de geometria adequada e de dispositivos de controle comparáveis aos adotados

normalmente nas rodovias. Frequentemente, esse objetivo deixa de ser alcançado e os motoristas desprevenidos são surpreendidos por condições de traçado ou de controle inadequadas, ocorrendo então os acidentes.

A solução consiste, em grande parte, no fornecimento aos motoristas de uma série de advertências antecipadas e de um número suficiente de informações a serem seguidas. As normas para o projeto e aplicação dos sinais e outros dispositivos de controle do tráfego, a serem utilizados nas áreas em manutenção, constam em detalhe no Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias – DNIT – 2010.

Avisos antecipados e adequados devem ser dados aos motoristas, para que estes se preparem para as condições modificadas nas áreas sujeitas à conservação rodoviária. Isso é especialmente verdadeiro no caso das estradas de alta velocidade. Por exemplo, onde existir uma transição de duas pistas de tráfego para uma única pista, torna-se recomendável o emprego de sinais de advertência, com a antecipação de 1,6 km, ou mais, e afunilamento de 360 m, ou mais, de extensão, antes do local de fechamento de uma das pistas.

Deve ser sempre evitado parar o tráfego em uma via expressa. Torna-se difícil e perigoso para um bandeirinha conseguir que os veículos parem, e os veículos que param representam uma oportunidade efetiva para colisões pela traseira. Os veículos parados vão se acumulando e formando uma fila que cresce continuamente em sentido contrário ao movimento. A movimentação constante dos veículos em torno de uma obstrução na via, mesmo que bastante lenta, é aceita pelos motoristas com menor irritação do que uma exigência feita para parar.

A canalização do tráfego deve ser conseguida através do emprego de sinais, marcações no pavimento, barreiras refletivas, balizadores, piquetes, delineadores direcionais e cones, que cedem, quando atingidos por veículos descontrolados. Devem ser evitados dispositivos, tais como sacos ou baldes de areia, tambores ou barricadas pesadas que possam ocasionar danos e ferimentos, quando atingidos. No caso de operações de conservação de curta duração, os sinais com setas pisca-pisca, montados na traseira do veículo de serviço, são bastante eficazes.

Algumas vezes existe uma tendência em permitir a deterioração das condições físicas desses itens, quando os trabalhos de manutenção se estendem além de certo período de tempo. Os dispositivos de controle do tráfego, utilizados nas zonas sujeitas ao trabalho, devem ser inspecionados a intervalos regulares. Aqueles que estiverem precisando devem ser limpos e/ou pintados, providenciando-se a substituição dos dispositivos danificados ou gastos pelo tempo. O mau emprego dos sinais de advertência deve, também, ser evitado. Os sinais inapropriados ou desnecessários nas áreas de

trabalho devem ser sempre removidos ou cobertos, quando os trabalhos não estiverem em andamento, mesmo durante curtos períodos de tempo e, principalmente, nos fins-de-semana e feriados. A exibição de sinais provisórios de advertência, tais como o de "Obras", quando a obra não existe, predispõe o público à perda de confiança nos sinais provisórios de advertência.

Os bandeirinhas são elementos muito importantes, em qualquer plano, para controlar o tráfego através de zonas de trabalho. Frequentemente, os bandeirinhas são os trabalhadores mais visíveis aos olhos dos motoristas que passam. A maneira pela qual o bandeirinha se comporta, sua aparência e sua adesão aos métodos apropriados de sinalizar impõem respeito quanto aos cuidados devidos ao dirigir, através das zonas de trabalho. A sinalização apropriada por parte do bandeirinha requer vigor e inteligência, e as escolhas para esse posto devem refletir esses atributos. A posição jamais deve ser dada a alguém, somente pelo fato dele não ser competente para preencher outras funções na obra.

7.3. ÁREA DE TRABALHO E PROBLEMAS DE DESVIO

As zonas em construção, os desvios, as zonas em manutenção e as passagens provisórias frequentemente possuem características geométricas e ambientes rodoviários que podem vir a exigir mais cautela e atenção do que normalmente se espera por parte dos motoristas. O tráfego pode atravessar um projeto em andamento, por meio de desvios, variantes ou passando através da obra. Tornam-se necessários certos cuidados na delimitação da zona, no emprego dos delineadores e dos dispositivos de advertência, bem como no controle das operações do empreiteiro, a fim de minimizar o impacto dessas operações sobre a segurança, quer dos motoristas, quer dos trabalhadores. As técnicas que ajudam nessa tentativa compreendem:

- Atenção adequada no controle do tráfego, durante as fases do planejamento e do projeto;
- Alinhamento e condições da superfície que permitam a passagem suave do tráfego em torno das zonas de trabalho;
- Afunilamentos extensos para as interrupções de pista ou para o estreitamento do tráfego nas áreas de transição;
- Conservação adequada de todos os dispositivos de controle do tráfego e marcações no pavimento, para atingir uma eficácia completa, quer durante o dia, quer à noite, inclusive o emprego de materiais provisórios de marcação, os quais possam ser removidos, à medida que os padrões de tráfego mudem.;
- O emprego de iluminação rodoviária e de luzes de advertência, sempre que necessário. O emprego de luzes fixas, ao invés de pisca-pisca, a fim de delinear a trajetória do veículo

através ou em redor da área de trabalho. A duração curta das luzes pisca-pisca não possibilita aos motoristas focalizar a luz e avaliar a percepção da profundidade. Os pisca-piscas devem limitar-se a assimilar os perigos isolados ou as extensões ocasionalmente curtas de uma delineação em tangente;

- O emprego de cones de borracha, delineadores ou piquetes, como um meio de canalizar o tráfego;
- A remoção de sinais e marcações do local de trabalho, sempre que não se tornarem mais necessários;
- O emprego de caminhões de cobertura para acompanhar o equipamento vagaroso de conservação, tais como as máquinas de pintura de faixas ou as varredeiras;
- O emprego de transportadores para deslocar o equipamento vagaroso entre frentes de trabalho;
- A retirada do equipamento vagaroso para fora do leito da estrada e nunca no canteiro central ou ao longo de uma estrutura estreita;
- Proteção do pessoal exposto aos perigos do tráfego, enquanto executa seus deveres, inclusive o emprego do coletes de segurança por parte de todos os operários;
- Possível limitação das horas de trabalho fora dos períodos do pico;
- Estacionamento dos veículos que transportam os operários fora dos acostamentos.

Naturalmente, deve haver proteção para o pessoal encarregado da manutenção, bem como para o usuário que viaja. Bandeirinhas apropriadamente treinados, vestidos e equipados, devem ser empregados para proteger os operários e para facilitar os movimentos do tráfego. As localizações dos bandeirinhas, bem como do desvio devem ser escolhidas de forma tal que ofereçam uma distância de visibilidade adequada aos motoristas. Por exemplo, um bandeirinha ou uma barreira, localizada na crista de uma parábola convexa constitui um dispositivo de segurança deficiente.

Deve ser providenciada uma área máxima de recuperação à margem da estrada, juntamente com dispositivos de delineação, tais como cones de borracha e balizadores. Caso não exista uma área de recuperação disponível, devem ser empregadas barreiras apropriadas, para proteger os motoristas dos perigos irremovíveis.

Nos canteiros centrais estreitos das estradas, acusando grandes volumes de tráfego, devem ser instaladas barreiras provisórias. Em tais situações, têm sido, algumas vezes, utilizadas as barreiras rígidas removíveis numa situação crítica de tráfego, para proteger dos perigos os trabalhadores e os

motoristas. Onde as extremidades expostas das defensas metálicas forem vulneráveis ao impacto dos veículos desgovernados, devem ser empregados dispositivos provisórios de atenuação do impacto.

7.4. EQUIPES DE MANUTENÇÃO

Os trabalhadores na manutenção são a linha de frente da segurança. Eles têm a maioria das oportunidades de ver os dispositivos de segurança que foram danificados em batidas, tempestades violentas ou por outros meios. Suas ações são sempre importantes, e algumas vezes críticas, para a preservação da segurança da rodovia e evitar que se corram riscos desnecessários. Por essas razões, os responsáveis pela rodovia devem estar seguros de que seus trabalhadores na manutenção possuam os conhecimentos e treino, bem como os equipamentos para proceder à inspeção, reparo e tarefas de substituição necessárias para manter ótimas condições de segurança.

O pessoal de manutenção deve estar a par dos dispositivos de segurança da área marginal da rodovia e deve ter conhecimento das funções desses dispositivos, de modo a não proceder a alterações de detalhes importantes do seu projeto. Além disso, deve entender a importância da manutenção para a segurança da operação, com vistas a fazer os reparos necessários rapidamente e documentar os trabalhos feitos, de forma completa e precisa. Para que possa cumprir seu trabalho, deve ter os equipamentos e ferramentas necessárias para os reparos a serem feitos. Os responsáveis pela rodovia devem estabelecer as condições para que se decida quando vários dos dispositivos de segurança devem ser simplesmente substituídos ou passar por melhoramentos, e devem manter o pessoal de manutenção informado.

7.5. OPORTUNIDADES PARA MELHORIA DA SEGURANÇA

Sistematicamente, em todo o País, turmas de conservação substituem sinais, defensas, sinaleiros, delineadores, suportes de luminárias e outros dispositivos, os quais ou se deterioraram pelo uso ou foram danificados pelo tráfego. Cada vez que uma dessas substituições tem lugar, toda a atenção deve ser prestada às modificações que se fazem necessárias para melhorar o tráfego. Os últimos conceitos sobre segurança devem ser aplicados pelas turmas de manutenção, quando estiverem substituindo os elementos danificados.

Por exemplo, se um sinal é atingido e danificado por um veículo desgovernado, diversas questões devem ser levadas em conta. O sinal ainda é necessário? Se ainda o for, pode ele ser reinstalado num local protegido? Caso ele deva ser recolocado no mesmo lugar, não deve ele ser do tipo articulado? Caso nenhuma das alternativas anteriores possa vir a ser adotada, qual é o melhor tipo de barreira longitudinal protetora a instalar, capaz de reconduzir o veículo à sua trajetória original?

As defensas devem ser cuidadosamente examinadas, antes de serem substituídas. Nos últimos anos, foram desenvolvidas inúmeras melhorias no projeto e algumas instalações podem ser melhoradas, no sentido de oferecer uma proteção mais efetiva ao público. Uma defensa que tenha falhado não deve ser recolocada na sua forma primitiva e, ainda, não deve ser substituída, se a sua ausência tivesse evitado o acidente ou resultasse em um acidente menos grave do que realmente ocorreu.

Quando dispositivos de segurança estão deteriorados ou danificados, podem surgir oportunidades para sua substituição por outros mais adequados. É importante que a equipe de manutenção esteja a par dos procedimentos, no que se refere à substituição, conserto ou melhoria de dispositivos não aprovados ou com características inferiores às desejadas.

Cada departamento de estradas ou de transportes deve estabelecer uma diretriz a esse respeito para as turmas de manutenção, uma vez que os melhoramentos na conservação constituem um mecanismo útil e valioso para a segurança.

7.6. PLANEJAMENTO DAS INSPEÇÕES RELATIVAS À SEGURANÇA

Os responsáveis devem preparar especificações para a inspeção periódica de ruas e rodovias e suas características relevantes. O objetivo básico destas inspeções é verificar as condições de segurança das características da rodovia e alertar os responsáveis quanto às correções que possam ser necessárias. A inspeção deve determinar:

- Características que não atendem aos padrões aceitos;
- Características que não são mais aceitas;
- Áreas com problemas, que podem justificar atenção complementar.

O planejamento deve especificar diferentes níveis e frequências de inspeções para trechos e rodovias específicas. Para determinar o nível e frequências das inspeções, devem ser considerados o tipo de rodovia, condições de segurança, volume de tráfego e sua velocidade. Devem ser consideradas, também, circunstâncias especiais que justifiquem inspeções, como acidentes ou tempestades com força destrutiva. A publicação *Procedure for Determining Frequencies to Inspect and Repair Highway Safety Hardware* – FHWA – 1983 e o Manual de Conservação Rodoviária – DNIT – 2005 contêm os procedimentos a serem seguidos pela equipe de manutenção, para determinar a frequência das inspeções e reparos necessários. Conhecidos o volume de tráfego e os dados de acidentes, são aplicadas relações estatísticas para determinar o intervalo de tempo durante o qual não se deve esperar um acidente no local selecionado. O planejamento das inspeções e reparos deve ser baseado nesse intervalo.

Técnicos familiarizados com as medidas de segurança e com os padrões de projetos aceitos pelos responsáveis devem conduzir as inspeções. Manuais específicos e cursos de treinamento do pessoal devem ser desenvolvidos.

7.7. APRIMORAMENTO DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA

Para que a manutenção tenha os efeitos desejados, é necessário que seja considerada não somente nas fases de projeto e construção, mas também durante a operação do sistema de rodovias. Os planos e manuais de instrução devem ser claros e preparados, de modo a conseguir adequada construção e execução de melhoramentos das medidas de segurança. Esses elementos devem ser fornecidos a todas as equipes responsáveis pelos reparos. Um sistema de atualização das informações deve ser estabelecido, para garantir que alterações dos planos de importância significativa para a segurança sejam imediatamente disponíveis para as equipes.

Além disso, deve-se manter um estoque adequado de dispositivos e materiais sobressalentes, para que os reparos possam ser prontamente executados. Para garantir a segurança, após introduzir novos dispositivos para esse fim, como atenuadores de impactos ou extremos de barreiras e defensas com maior probabilidade de sofrerem colisões, peças suficientes para eventuais reparos devem ser acrescentadas ao estoque, para que os reparos que forem necessários possam ser feitos o mais rápido possível.

As decisões que envolvem a restauração de dispositivos abaixo de padrão ou que não foram adequadamente aprovados devem ser transmitidas ao pessoal responsável pela manutenção. Tem sido frequentemente adotada a decisão de levar dispositivos danificados às suas condições originais ou substituir por outros iguais. Devem ser feitos esforços, no sentido de substituir dispositivos danificados por modelos mais adequados. Já que têm que ser feitos os reparos, deve ser feita uma análise de benefício/custo, considerando a hipótese de sua substituição. Desta maneira, um pequeno custo acima do simples conserto do dispositivo danificado pode representar uma melhoria na segurança. Ademais, o conhecimento de danos provocados por acidentes pode ser considerado reconhecimento de uma condição potencialmente perigosa. O processo de analisar e aplicar melhorias de segurança de uma forma lógica e economicamente justificável é uma boa base para defesa em ações por perdas e danos em casos de acidentes. Portanto, sempre que um conserto ou substituição de um dispositivo de segurança for resultado de um acidente, futuras ações por perdas e danos devem ser consideradas como custos adicionais na comparação com os custos resultantes de melhorias do dispositivo. Essas despesas eventuais devem ser consideradas na determinação dos custos necessários para manutenção.

7.8. CUIDADOS ESPECIAIS COM A MANUTENÇÃO

Certos elementos das rodovias requerem cuidados especiais, devido ao fato de que se espera que sejam danificados de tempos em tempos. As barreiras dos diversos tipos estão nessa categoria. Sendo uma barreira um objeto fixo, constitui um problema especial de segurança e só deve ser usada após a consideração de alternativas. Tanto quanto for possível, condições marginais de uma rodovia que tragam insegurança devem ser eliminadas ou ter suas condições modificadas para aumentar a segurança, de modo que seja dispensada a necessidade de uma barreira. Tal como foi observado anteriormente, as barreiras só devem ser instaladas nos locais onde o resultado de se chocar com o objeto fixo ou de abandonar o leito da estrada seja mais grave do que as consequências de atingir a barreira. Quando não houver alternativa possível, cuidados devem ser tomados quanto a sua localização, instalação e manutenção.

7.8.1. Extremidades de barreiras

Extremidades de barreiras de tipos novos, adicionados a um sistema de rodovias, requerem mais cuidado na manutenção que as extremidades de primeira ou segunda geração. Os novos terminais têm sido projetados para atender a uma margem ampla de tamanhos de veículos e são, em geral, mais complexos que os antigos, que não têm partes que possam cair. Esses tipos podem ainda ser úteis depois de sofrer um impacto, e não dependem tanto de imediata identificação e reparo como outros tipos, que entram em colapso e absorvem energia.

7.8.2. Barreiras longitudinais

Barreiras longitudinais protegem motoristas de condições perigosas existentes ao longo da rodovia, impedem acidentes com veículos da corrente oposta que poderiam atravessar o canteiro central e reduzem a severidade dos acidentes sofridos pelos veículos desgovernados, que saem da estrada. Quando projetadas, instaladas e mantidas adequadamente, elas contêm e redirecionam esses veículos. Testes feitos com sistemas de barreiras mostram que pequenas alterações em sua estrutura podem ter grande efeito em sua performance em impactos.

Embora o pessoal de manutenção geralmente não seja responsável pela determinação das necessidades de barreiras e em sua colocação, deve ter conhecimento dos padrões normalmente adotados, para poder alertar os responsáveis, quando constatarem a ocorrência de barreiras que não atendem a esses padrões. Os aspectos críticos a considerar são:

- Comprimento da barreira e terminal em relação ao problema;
- Distância lateral entre a barreira e objetos rígidos;

- Inclinação do terreno entre a barreira e a pista de rolamento;
- Características de elementos verticais abruptos, tais como meios-fios e passeios laterais entre a barreira e a pista de rolamento.

7.8.3. Defensas metálicas

Há três alternativas a considerar, quando trechos significativos de defensas (maiores que 30 m) sofrem danos: remover, melhorar suas características ou executar os reparos necessários. A decisão da alternativa apropriada deve considerar diversos fatores:

- *Remoção*. Esta opção depende de verificar se a defensa ainda é necessária. Defensas laterais já instaladas há algum tempo podem ser desnecessárias por mudanças nas condições da via ou nas condições que exigem barreiras. Por se tratar de objeto fixo, pode ser mais benéfico (isto é, aumentar a segurança e reduzir a manutenção) remover a barreira que restaurá-la. Os fatores que influenciam na decisão incluem volume de tráfego, custos, experiência com acidentes, custos contínuos de manutenção e a condição e tipo de defensa existente. Ocasionalmente a remoção exige que sejam reduzidas inclinações elevadas de taludes de aterros. As inclinações devem ser reduzidas, pelo menos, para 1V:4H, em vias expressas, ou 1V:3H, em outras vias.
- *Melhoria.* Esta opção é viável, quando a defensa existente não atende aos padrões correntes e o custo para sua melhoria é muito inferior à sua substituição. Devido às condições mais severas de batidas em terminais, as extremidades devem ser sempre analisadas, para avaliar a possibilidade de sua melhoria.
- *Reparo.* Esta opção envolve a verificação do tempo necessário para sua correção, com base na extensão dos danos, que podem ser classificados em três categorias:
  - Danos tão severos que a defensa não exerce mais suas funções e pode constituir um risco a mais para os motoristas;
  - Os danos são evidentes, mas ainda atende a suas funções de forma satisfatória, para a maioria das condições do tráfego;
  - Os danos são pequenos e continua a funcionar adequadamente.

Se a mesma área da defensa for atingida mais de uma vez em um determinado período de tempo, deve-se procurar determinar as causas prováveis destas ocorrências e considerar que medidas poderiam ser tomadas para eliminá-las ou reduzi-las.

7.8.4. Atenuadores de impactos

Atenuadores de impactos protegem motoristas de objetos rígidos que não podem ser removidos ou relocados. Eles funcionam, fazendo parar um veículo desgovernado em uma distância curta ou fazendo com que se desvie de um objeto potencialmente perigoso. Pouco utilizados no País, são normalmente colocados em locais em que acidentes podem causar maiores danos, como praças de pedágios. A maioria dos atenuadores em uso é projetada e comercializada pela indústria privada, que fornece orientação detalhada para sua manutenção. As equipes de manutenção devem familiarizar-se e seguir essas orientações.

7.9. MANUTENÇÃO DE ROTINA

7.9.1. Diferença de nível da borda do pavimento

As diferenças de nível entre faixas adjacentes ou entre o pavimento e o acostamento podem desenvolver-se durante a vida da rodovia, com a execução de resselagens, recapeamentos, erosão ou desgaste dos acostamentos. Se não forem adequadamente corrigidas, essas diferenças podem levar à perda do controle dos veículos, com aumento do potencial de sérios acidentes. A perda do controle do veículo pode ocorrer, quando motoristas desatentos ou inexperientes tentam voltar para a faixa de tráfego desejada (por exemplo, passar do acostamento para a pista de rolamento), forçando a mudança de direção, para vencer a resistência provocada pela diferença de nível. A publicação *Roadside Design Guide* – AASHTO – 1990, no seu capítulo 9, discute esse assunto. Para reduzir o problema da diferença de cotas entre a pista de rolamento e o acostamento, as condições dos acostamentos devem ser inspecionadas regularmente como parte do programa geral de manutenção, para controlar a sua deterioração.

7.9.2. Remoção da vegetação

Árvores ou arbustos de grande altura constituem um problema de segurança para os motoristas. As árvores causam mais acidentes fatais que quaisquer outros objetos fixos. Por essa razão, deve ser adotado o procedimento de remover todas as árvores e arbustos com mais de 10 cm de diâmetro situados na área de recuperação lateral de todas as rodovias com tráfego de alta velocidade. Além disso, não deve ser permitida a plantação de árvores pequenas ou arbustos que possam crescer e atingir as condições consideradas inseguras: árvores de pequeno diâmetro devem ser cortadas, no máximo a uma altura de 10 cm do solo; árvores de grandes diâmetros devem ser cortadas ao nível do solo. Árvores de quaisquer dimensões em um talude devem ser cortadas ao nível do solo do talude, para evitar o problema de provocarem o descontrole e mesmo o tombamento ou rolamento de um veículo, como mostrado na Figura 56.

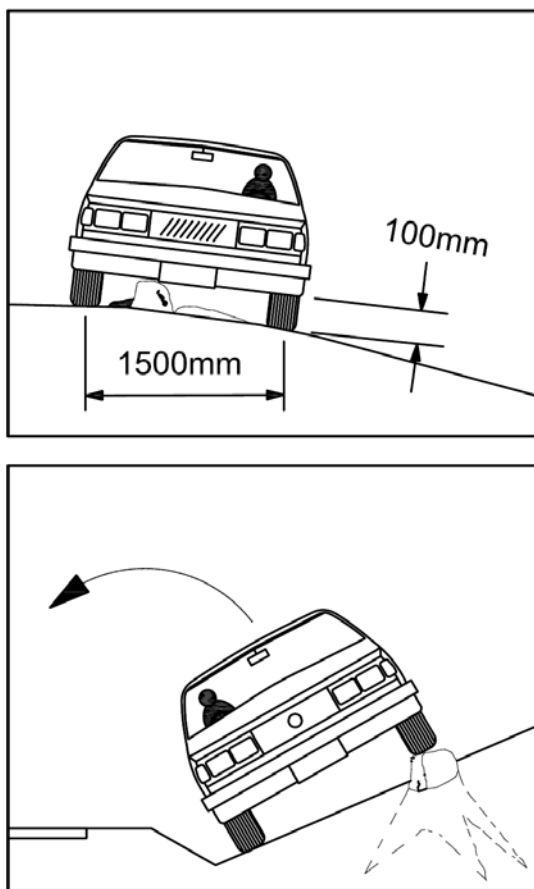
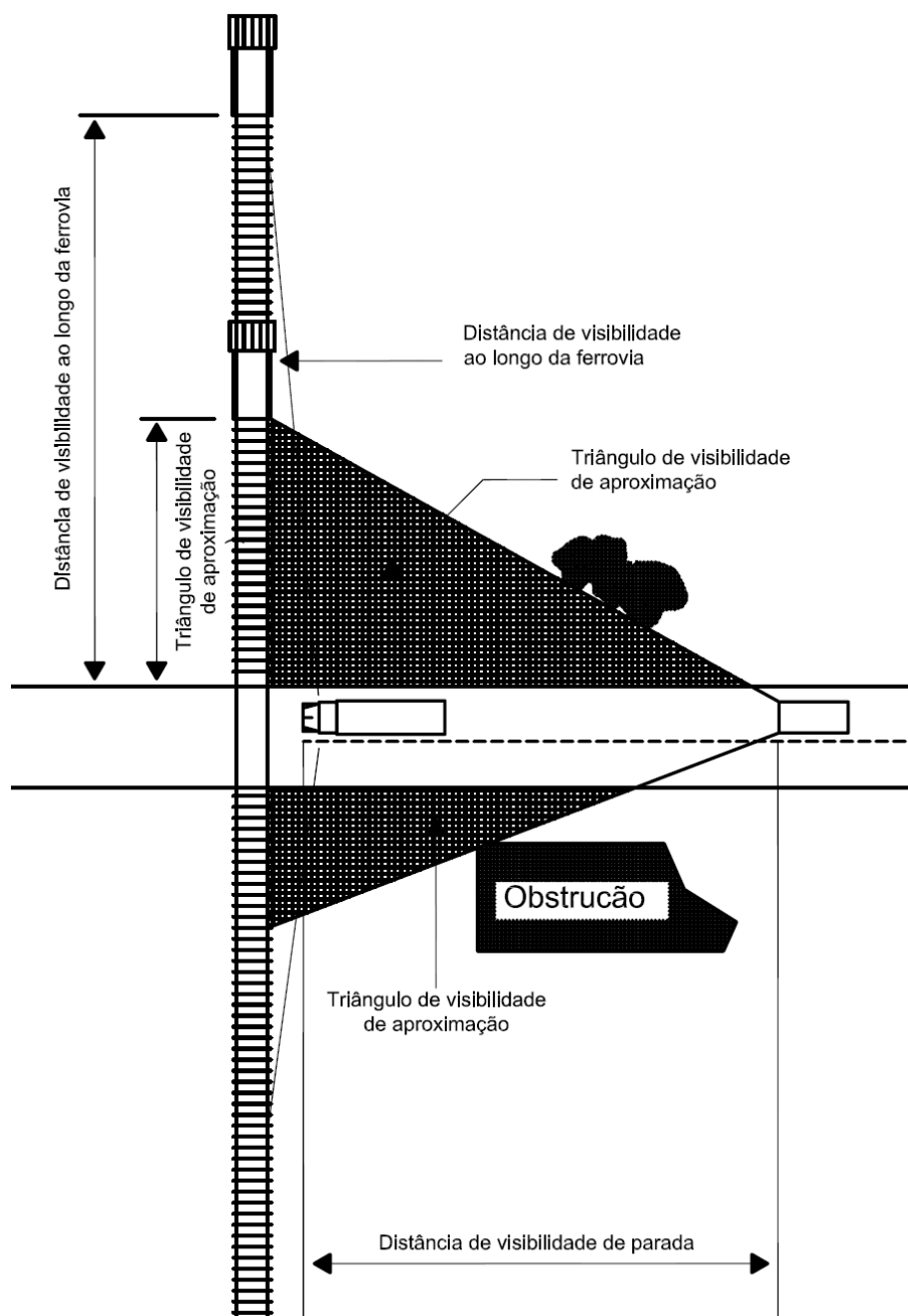
Figura 56 – Veículo batendo em um tronco de árvore

A vegetação ao longo de uma rodovia pode limitar a visão que os motoristas têm dos pedestres, animais, sinais, semáforos, da estrada à sua frente e de outros veículos. Interseções sem controle em local plano têm, às vezes, sua visibilidade prejudicada por capim alto. As lavouras são, às vezes, tão próximas da rodovia, que podem prejudicar a visibilidade de um veículo que se aproxima da interseção. A visibilidade é, também, um problema muito importante em travessias de nível de uma ferrovia. O motorista tem que ter visão desimpedida, ao longo dos trilhos, a uma distância suficiente para que se sinta seguro que nenhum trem constitui uma ameaça. Os triângulos de visibilidade correspondentes constam da Figura 57, e a distância requerida pode ser obtida no Manual de Projeto de Interseções – DNIT – 2005. Para atender aos grandes veículos de carga (CVC), há necessidade de proceder a correções em função de seus comprimentos.

Figura 57 – Triângulo de visibilidade para uma travessia ferroviária em nível

7.9.3. Drenagem

a) Drenagem da rodovia

As equipes de manutenção devem estar cientes da importância da drenagem da rodovia e de sua área marginal para a segurança. A drenagem é importante em qualquer via, e especialmente nas que permitem velocidades elevadas. Os pavimentos devem ter boa inclinação transversal, por exemplo,

2%, em pavimentos de qualidade superior, como os de concreto de cimento portland e de concreto asfáltico. Os pavimentos devem ter boa macrotextura, para reduzir a possibilidade de aquaplanagem. As equipes de manutenção devem estar atentas à ocorrência de turfa ao longo das rodovias que não têm acostamentos pavimentados. A turfa pode impedir a drenagem do pavimento, que passa a reter bolsões de água em sua superfície, que podem dar origem a aquaplanagem ou perda de controle. Acostamentos pavimentados eliminam o aparecimento de turfa na borda da pista de rolamento, mas dão origem a outros custos de manutenção.

Greides planos combinados com declividades transversais pequenas e raios longos tendem a criar rotas longas, para que as águas resultantes da drenagem alcancem a borda do pavimento. Isso se observa em áreas situadas entre a seção transversal com o coroamento pleno e a seção superelevada da curva. O resultado é uma lâmina d`água mais espessa, mesmo com pouca chuva. Pode ocorrer aquaplanagem total ou parcial, fazendo com que a curva, aparentemente segura, se transforme em um local passível de acidentes. Tais áreas podem ainda piorar se recapeamentos ou outros tratamentos superficiais não são feitos, de modo a preservar ou aumentar a declividade transversal. Algumas vezes, é necessária a aplicação de uma camada com espessura decrescente para a borda, para melhorar a inclinação transversal.

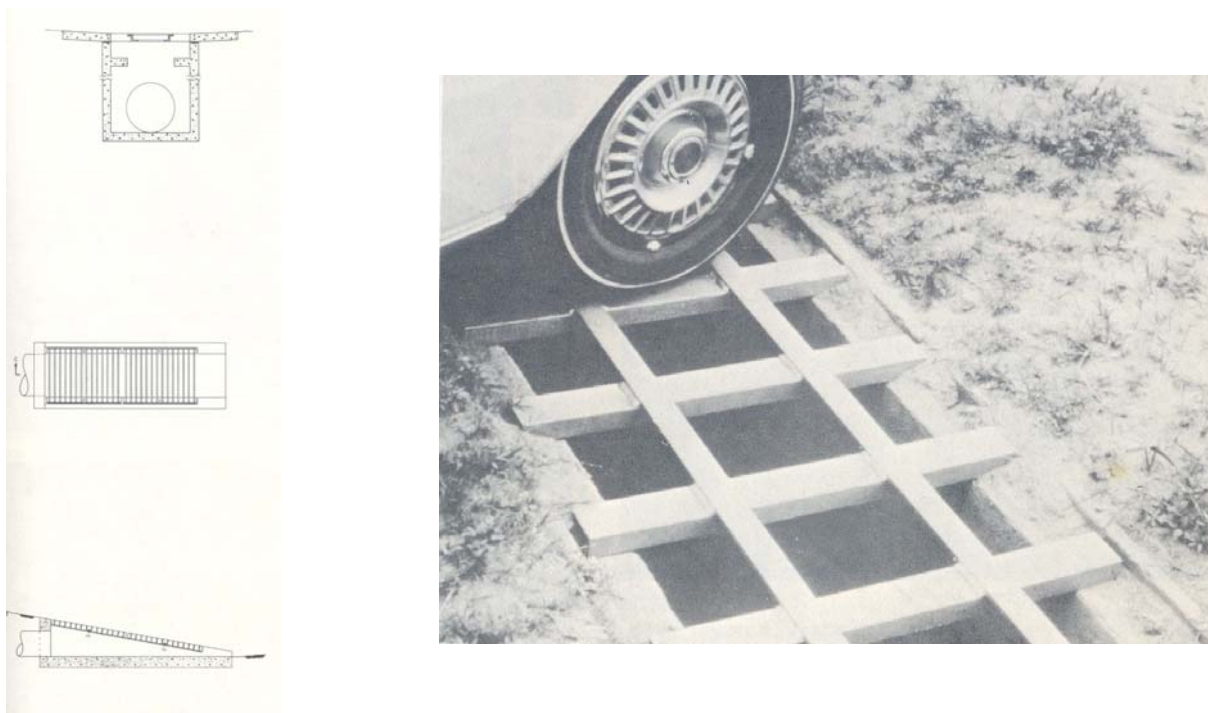
Quando remendos ocupam uma parte significativa de uma faixa, toda a largura da faixa deve ser coberta pelo mesmo, para evitar criar uma diferença entre os coeficientes de atrito dos pneus esquerdo e direito do veículo. Essa diferença, principalmente em paradas súbitas, pode fazer o eixo do veículo formar um ângulo com o eixo da faixa. No momento em que os freios são soltos, o veículo pode passar para a faixa adjacente ou mesmo sair da pista de rolamento. Remendos costumam também provocar retenções de água. Através dos anos, os remendos sucessivos tendem a modificar a declividade transversal e a superelevação da superfície original.

b) Drenagem marginal

A drenagem marginal que deixa de funcionar corretamente cria problemas de segurança. Quando a água a escoar excede sua capacidade, as águas que transbordam podem formar poças d´água no pavimento, criando problemas para a direção dos veículos. Sarjetas erodidas podem ficar excessivamente profundas, com lados muito inclinados, reduzindo a segurança dos veículos. Esses problemas podem ser evitados ou minimizados com manutenção adequada, que inclua inspeção regular e limpeza dos dispositivos de drenagem.

As extremidades de bueiros podem criar problemas de segurança para veículos desgovernados. Algumas vezes, o bueiro pode ser prolongado em uma extensão segura e o aterro recomposto, de

modo a oferecer certa segurança e uma aparência agradável. Para bueiros de diâmetro maior, que não possam ser recuados da via trafegada, pode ser necessário empregar ralos e saídas inclinadas, providas de grelhas transponíveis, que não prendam as rodas dos veículos (Figura 58). Caso essas soluções não sejam viáveis, os veículos devem ser protegidos com defensas metálicas ou barreiras rígidas. Orientação para a aplicação das medidas adequadas pode ser encontrada na publicação *Maintenance of Drainage Features for Safety, A Guide for Street and Highway Maintenance Personnel* – FHWA.

Figura 58 – Detalhes de projeto de grelhas transponíveis

7.9.4. Sinais

A manutenção dos sinais e semáforos é imprescindível. Quando são danificados, obscurecidos ou arrancados, deixam de fornecer informações necessárias para os motoristas, contribuindo para a ocorrência de acidentes. Com efeito, sinais que, por ação do sol, têm reduzidas suas qualidades de contraste podem criar problemas para motoristas com visão deficiente. As equipes de manutenção devem ser treinadas para aprender a reconhecer quando um sinal deve ser consertado ou substituído. As equipes devem estar a par dos graus de importância (hierarquia) dos sinais: regulamentação, advertência e orientação. A aplicação dos procedimentos padronizados deve ser orientada em conjunto com a realização de um inventário de sinalização e aplicação das recomendações do sistema de manutenção, de modo a instruir as equipes quanto às necessidades de substituição de um

determinado elemento de sinalização ou de efetuar reparos de campo. Os inventários e as medidas de manutenção adotadas incluem o histórico de cada elemento da sinalização e promovem o uso eficiente de pessoal e recursos de manutenção. As equipes devem ser orientadas a nunca remover um sinal sem substituí-lo, a não ser que um dos responsáveis determine que o sinal não seja necessário.

A equipe de manutenção deve ser responsável pela garantia de que a sinalização está em boas condições para cumprir suas funções de dia e de noite, e deve, como medida de rotina, observar as condições da sinalização, durante seus deslocamentos diários. É conveniente que grupos de revisão dos departamentos de tráfego e de manutenção verifiquem se a sinalização é adequada e fornece as informações necessárias, se tem boa visibilidade de dia e de noite, e se está bem localizada. A inspeção da sinalização deve ser programada para ser feita, pelo menos, uma vez por ano. Orientação relativa à manutenção e seus programas pode ser encontrada nas publicações *Maintenance of Small Traffic Signs* – FHWA e *Maintenance Management of Street and Highway Signs* – TRB – 1990.

a) Sinais obstruídos

A obstrução de um sinal da visão de um motorista pode resultar de um erro em sua instalação, do crescimento da vegetação ou de mudanças no desenvolvimento local. As equipes de manutenção devem ser instruídas a identificar eventuais obstruções de sinais, sempre que estiverem na rodovia, e a inspeção anual deve incluir essa orientação em seu programa. O conhecimento das distâncias de visibilidade necessárias e da importância relativa dos diversos tipos de sinais é fundamental para a inspeção. Na Tabela 4, são indicadas as distâncias mínimas de visibilidade recomendadas pelo DNIT para sinais de regulamentação e advertência e, na Tabela 5, para sinais de indicação.

Tabela 4 - Distância mínima de visibilidade para sinais de regulamentação e de advertência

Velocidade de Operação (km/h)	Distância Mínima de Visibilidade (m)
40	70
60	85
80	105
100	120
110	130

Tabela 5 - Distância mínima de visibilidade para sinais de indicação, em função da velocidade e classe da rodovia

Velocidade (km/h)	Classe I-B ou inferior	Classe I-A	Classe 0 (Via Expressa)
	Distância de Visib. (m)	Distância de Visib.(m)	Distância de Visib. (m)
40	130	-	-
60	145	170	-
80	160	180	180 a 225
100	180	180 a 225	225 a 275

Para segmentos com velocidade de 110 km/h, adotar preferencialmente valor situado entre o médio e o mais alto da faixa.

Sinais bloqueados devem ser desobstruídos tão cedo quanto possível. Capim alto, arbustos e árvores devem ter suas alturas reduzidas, para desobstruir a visão. Sinais, cuja visibilidade é impedida pela geometria da rodovia ou por estruturas, devem ser relocados ou complementados com a instalação de outros sinais. A visibilidade de um sinal pode também ser prejudicada por ofuscamento provocado por luzes intensas de outras fontes. Esse problema pode ser corrigido por:

- Controle da fonte que provoca o ofuscamento;
- Aumento do tamanho do painel do sinal;
- Uso de um material refletor mais eficiente.

b) Aparência do sinal

A reação dos motoristas ao verem um sinal depende de sua percepção da necessidade real do sinal. A aparência do sinal é um dos maiores fatores dessa avaliação. Sinais gastos, parcialmente destruídos, mal localizados ou mal alinhados aparentam ter pouca importância e não inspiram respeito aos motoristas.

c) Sinais desnecessários

As margens das rodovias são, às vezes, ocupadas por tantos sinais, que os motoristas ficam confusos. Devem-se empreender esforços em remover os sinais que não são realmente necessários. O agrupamento de um grande número de sinais, que pode confundir os motoristas e diminuir o fluxo de veículos, deve ser reduzido a um mínimo de informações em um sinal único ou dividindo essas informações em uma sequência de sinais. O cuidado mais importante a tomar é a eliminação de mensagens contraditórias ou que dêem essa impressão, ou que entrem em conflito com a geometria da rodovia.

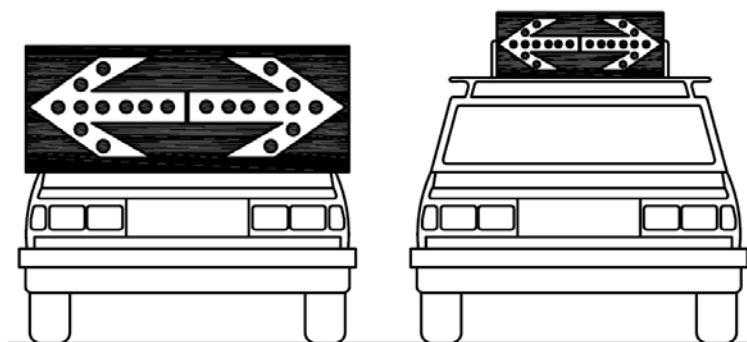
7.9.5. Marcas no pavimento e delineadores

Marcas no pavimento e dispositivos delineadores somente são guias valiosos para os motoristas quando mantidos com visibilidade aceitável. Inspeções e revisões periódicas, de dia e de noite, são necessárias para que se tenha certeza de que estão exercendo suas funções. Os períodos de inspeção dependem do clima, da qualidade dos materiais empregados e da classe da rodovia. Uma lâmpada de grande intensidade deve ser usada para verificar a capacidade refletora dos sinais e marcas durante o dia. Marcas salientes do pavimento e delineadores também podem ser verificadas dessa forma. Se disponíveis, podem ser usados medidores específicos de retrorrefletividade. Marcas no pavimento que não são mais necessárias devem ser removidas, tão cedo quanto possível.

7.9.6. Proteção de zonas de trabalho

Veículos lentos ou equipamento estacionado, tais como caminhões de pintura ou de reparos, podem representar um obstáculo considerável ao movimento do tráfego, mesmo em zonas com velocidade reduzida. Um caminhão com um amortecedor de colisão em sua traseira, posicionado entre o tráfego que se aproxima por trás e os trabalhos em execução, pode reduzir as consequências de batidas para os motoristas dos dois veículos. Esses amortecedores são dispositivos de segurança para absorção de energia presos na traseira de um veículo pesado (de mais de 4.500 kg quando vazio), adotados para proteger motoristas e trabalhadores das consequências de colisões pela traseira. Esses veículos são usados principalmente para operações móveis, tais como pinturas no pavimento, tapa-buracos e substituição de luminárias.

Todos os veículos de serviço que necessitarem trafegar em velocidade reduzida ou permanecerem estacionados no leito viário, mesmo que por espaços de tempo reduzidos, devem estar equipados com dispositivos de sinalização. No caso de utilização no período noturno, os veículos devem ser pintados com faixas refletivas, tanto na sua dianteira como na sua traseira, e dotados de luz amarela intermitente, em sua parte mais alta, ou portarem o sinal “Painel com Seta Iluminada”, conforme recomendado no Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias do DNIT (Figura 59).

Figura 59 – Painel com seta iluminada

7.9.7. Áreas marginais

Tanto quanto for possível, os elementos laterais às rodovias, como aterros, sarjetas, acessos a propriedades e travessias, devem ser mantidos, de modo que reduzam eventuais invasões por veículos desgovernados. O capotamento de veículos é uma das maiores causas de mortes em acidentes. Muitos dos capotamentos ocorrem em sarjetas e aterros laterais. Quando as áreas marginais a uma rodovia não mantêm aproximadamente a mesma altura da pista, um carro desgovernado que saia da rodovia encontra um talude de corte ou de aterro, que podem fazer com que o condutor perca o controle do veículo ou mesmo sofra uma capotagem. Quando as áreas marginais são construídas de modo que se atenda a padrões de segurança, os dispositivos que garantem essa segurança devem ser mantidos adequadamente. Se as condições de segurança existentes não atendem ao padrão desejado e dão causa a acidentes, elas devem ser melhoradas para atender a esses padrões, podendo essas alterações ser de caráter local ou mesmo incluir um trecho maior da rodovia.

ANEXO A

OBSERVAÇÕES RETIRADAS DO *ROAD SAFETY MANUAL*

WORLD ROAD ASSOCIATION (PIARC) - VERSÃO 1 – 2003

ANEXO A

OBSERVAÇÕES RETIRADAS DO ROAD SAFETY MANUAL - WORLD ROAD ASSOCIATION (PIARC) -VERSÃO 1 – 2003

Após a elaboração do *Manual de Projetos e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias*, foi considerado conveniente a inclusão deste Anexo, que contém alguns dos tópicos do *Road Safety Manual – World Road Association – PIARC*, 2003, de grande utilidade para complementação e ilustração do Manual.

Com mais de um milhão de pessoas morrendo em estradas cada ano no mundo e com o crescimento elevado de casos fatais e de feridos, há necessidade urgente de uma ação forte das instituições responsáveis pela segurança das estradas.

Contudo, um dos maiores problemas encontrados pelos encarregados da segurança é a falta de um manual de referência que apresente de forma sucinta o conhecimento adquirido através dos anos. Esse conhecimento se encontra distribuído em inúmeros artigos de jornais, nos anais de conferências, nos resultados de pesquisas, e em diversas outras fontes.

Além disso, essas informações são às vezes contraditórias e difíceis de conciliar por quem não for um especialista no assunto. A experiência mostra que esses analistas não dispõem do tempo e experiência necessários para sintetizar essas informações, o que leva frequentemente a decisões inferiores às que deveriam ser tomadas. A situação se torna ainda mais problemática pelo fato de que os países com os piores índices de acidentes e que maiores necessidades têm de intervenção nessa área, são geralmente os que maiores deficiências têm em pessoal especializado e equipamentos de trabalho.

Os membros do Comitê de Segurança Rodoviária da Associação Mundial de Rodovias (PIARC) desenvolveram o manual citado com o objetivo de melhorar a situação atual, provendo acesso mais fácil ao conhecimento do estado da arte em termos de segurança.

A.1 FATORES DE SEGURANÇA RODOVIÁRIA

A.1.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SEGURANÇA

As exigências de segurança devem levar em conta os fatores que contribuem para seu funcionamento adequado e as conclusões resultantes das deficiências do sistema.

No decorrer dos anos novas tecnologias deverão modificar os relacionamentos dos veículos com os demais componentes do sistema de transporte. Os três princípios descritos a seguir devem permanecer válidos.

A.1.1.1 Princípio de qualidade

Cinco requisitos básicos devem ser atendidos:

a) Visibilidade

Estima-se que cerca de 90% da informação usada para dirigir é visual. Deve-se assegurar que a informação visual fornecida pela rodovia contribua para facilitar a tarefa de dirigir.

Essa informação visual, que levará em conta as velocidades de operação, deve ser fornecida aos usuários da rodovia em tempo hábil, para permitir que se adaptem às condições encontradas. Os pedestres e outros usuários que desejem atravessar a rodovia devem poder enxergar a uma distância suficiente, que lhes permita analisar as informações disponíveis e decidir com segurança quando executar a travessia.

Devem ser verificados os valores de *distâncias de visibilidade* exigidos para rodovias e suas interseções.

b) Sinalização viva

É desejável que o paisagismo rodoviário forneça aos usuários informações suficientes para orientá-los quanto aos eventos a esperar.

As Figuras A.1-A e A.1-B mostram claramente como o elemento vegetal pode servir de preciosa advertência aos motoristas nos cruzamentos e entroncamentos. A Figura A.1-A caracteriza a ocorrência de uma rodovia secundária por duas fileiras de árvores em suas margens e a Figura A.1-B indica o término da rodovia por um conjunto de árvores dispostas transversalmente.

Figura A.1 – Vegetação realçando as interseções

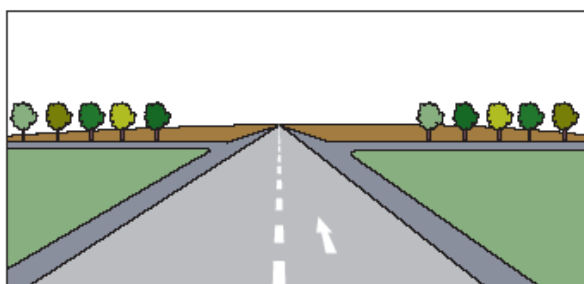



Figura A.1-A

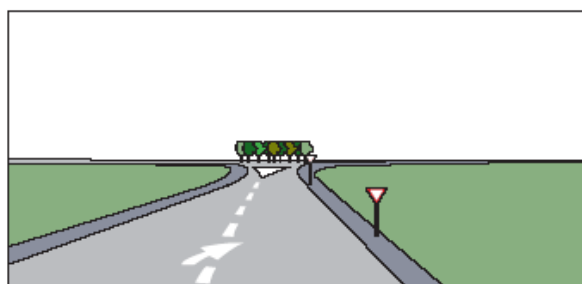



Figura A.1-B

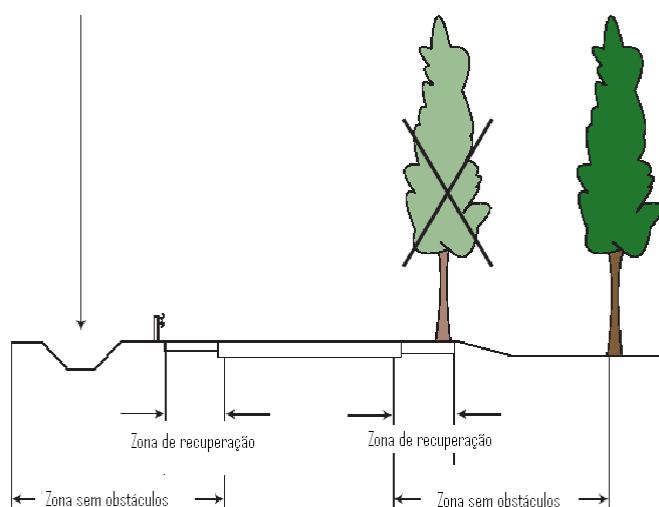
c) Adequação da infraestrutura

As características da rodovia estabelecidas a partir de sua velocidade de operação devem ser próprias para reduzir os riscos de derrapagem, tombamento e capotamento, que podem ocorrer por causas diversas:

- Mudança súbita do raio da curva horizontal;
- Perda de atrito em interseções;
- Ondulações em rodovias próprias para velocidades elevadas;
- Pinturas na rodovia que possam desestabilizar veículos de duas rodas.

d) Zonas de recuperação

As características da infraestrutura devem permitir manobras de recuperação em situações críticas (Figura A2). Caso contrário, é de se esperar que ocorram acidentes.

Figura A2 – Zonas de recuperação e zonas sem obstáculos

e) Limitação da severidade do impacto

Os obstáculos laterais devem ser poucos e estar suficientemente afastados da rodovia de modo a não agravarem as consequências de eventuais acidentes. Onde essas condições não são atendidas os obstáculos rígidos devem ser protegidos (por exemplo, por defensas) ou ser facilmente destruídos.

As inclinações dos taludes laterais devem ser tão suaves quanto possível, com inclinação não superior 1V:3H , de modo a reduzir a possibilidade de tombamentos ou batidas.

A velocidade de impacto, que depende muito da velocidade antes do acidente, deve ser suficientemente pequena, particularmente no caso de colisão com um pedestre ou um ciclista.

A.1.1.2 Princípio de consistência no espaço

O critério de consistência não pode ser considerado de forma independente. Por exemplo, tem que levar em consideração as velocidades de operação da rodovia, que são parcialmente condicionadas pelo seu projeto. Podem-se estabelecer dois tipos de consistência:

a) Consistência dos elementos da rodovia

A rodovia deve apresentar consistência dos seus elementos, para evitar situações perigosas, por exemplo:

- Rodovias com características que encorajem velocidades elevadas, como rodovias com pista dupla sem interseções em nível, não são consistentes com a ocorrência de pontos críticos, tais como: acessos a propriedades privadas, acostamentos estreitos, obstáculos rígidos próximos, etc.
- Ruas de áreas residenciais com características adequadas à presença de pedestres e ciclistas não devem apresentar longos alinhamentos em tangente, faixas de tráfego largas, etc.

b) Consistência das características de uma mesma rota

Para dirigir com segurança o usuário precisa entender em que tipo de rodovia ele está trafegando, de modo que tenha condições de prever que situações podem ocorrer. Isso requer que seja estabelecido um sistema de categorização das vias em que cada categoria atenda a um conjunto consistente de características (Tabela A.1):

- Uma padronização adequada de categorias de rodovias ajuda o usuário a reconhecer o nível de serviço que lhe é oferecido;
- O tratamento homogêneo das rodovias de cada categoria aumenta a segurança;
- Quando as características não podem ser mantidas ao longo de uma mesma rota, a transição de um tipo de rodovia para outro deve ser claramente indicada.

Tabela A.1 – Volumes de tráfego e tipos de acessos em diferentes categorias de rodovias (França)

<table>
<tr><th></th><th>Tipo de rodovia</th><th>Volume de tráfego</th><th>Tipos de acessos</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Rodovias Principais</td><td>Rodovias de duas pistas: vias expressas</td><td>Intenso</td><td rowspan="2">- Travessia em dois níveis
- Acessos controlados
- Sem travessias urbanas</td></tr>
<tr><td>Rodovia de uma pista: rodovias rurais principais</td><td>Moderado ou pequeno</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Outras Rodovias</td><td>Rodovias de duas pistas: arteriais interurbanas</td><td>Intenso</td><td rowspan="2">- Travessias em nível
- Acessos possíveis
- Trav. urbanas possíveis</td></tr>
<tr><td>Pista simples, duas faixas: Rodovia secundária</td><td>Moderado ou pequeno</td></tr>
</table>

A.1.1.3 Princípio de consistência no tempo

A segurança em uma rodovia é fortemente influenciada pelas mudanças dos fluxos de tráfego. Na Figura A.3 a ligação em amarelo sofre um processo de deterioração de sua segurança em função das alterações do sistema viário local, que cria novos acessos à rodovia de contorno, acrescentando pontos de conflito e modificando os fluxos de tráfego. As mudanças planejadas se desenvolvem geralmente através de vários estágios dos estudos da rodovia, que tipicamente se dividem em três fases: estudos de traçado, projeto básico e projeto executivo. A segurança tem que ser considerada adequadamente em cada uma dessas fases.

a) Estudos de traçado

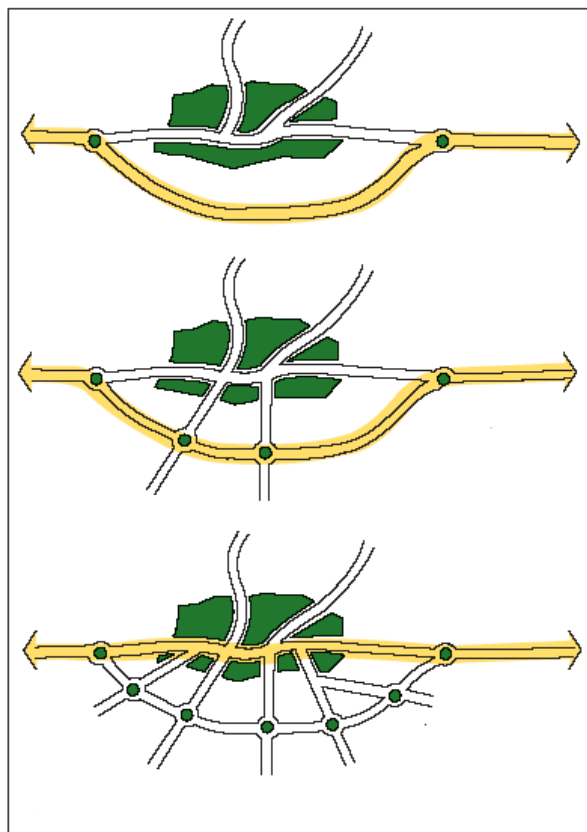
- Consistência ao longo da rota;
- Definição das melhorias planejadas em função dos fluxos.

b) Projeto básico

- Lançamento do eixo e de suas principais características (por exemplo: tipos de interseções, largura da pista, etc.).

c) Projeto executivo

- Equipamentos de segurança, sinalização;
- Tratamento dos pontos críticos.

Figura A.3 – Deterioração progressiva de uma rodovia de contorno de uma área urbana

Fonte: Artaut and Julian, 1999

A.1.2 COERÊNCIA DO AMBIENTE RODOVIÁRIO

Os motoristas adotam velocidades que atendam suas necessidades de segurança e mobilidade em função das informações fornecidas pelo ambiente rodoviário. Quando essas informações são ambíguas, hesitações, comportamento inseguro e erros de condução do veículo podem ocorrer. Ao contrário, quando o ambiente fornece informações coerentes, pode-se contar com um comportamento mais apropriado e homogêneo dos motoristas.

Para que o ambiente rodoviário seja considerado coerente, seus componentes devem estar harmoniosamente conjugados:

- Função da rodovia: mobilidade, distribuição, acessos;
- Condições do tráfego: tipos de usuário, volumes de tráfego, etc;
- Geometria: alinhamento, seção transversal, etc;
- Uso do solo: residencial, comercial, agricultura etc;

Alguns princípios básicos devem ser satisfeitos para garantir a coerência:

- Evitar a mistura de funções em uma mesma rodovia (rodovias de função única);
- Evitar a combinação de características inadequadas;
- Evitar a mistura, tanto de velocidades como de pesos totais, que sejam muito diferentes;
- Levar em conta as necessidades de todos os usuários da rodovia (particularmente dos usuários não motorizados).

Com relação a mono-funcionalidade, os baixos índices de acidentes observados em vias expressas servindo a uma única função de mobilidade, e em rodovias de acesso adequadamente planejadas e projetadas para excluir tráfego que não seja local, demonstram claramente os benefícios de segurança que podem ser conseguidos com a separação dessas duas funções de tráfego. De forma contrária, problemas de segurança são frequentemente encontrados em uma via servindo a essas duas funções. Os problemas que se seguem são comuns e devem ser identificados em uma análise de segurança.

a) Vias arteriais com um grande número de acessos laterais

Resultam de acessos inadequados, provenientes de:

- Expansão de pequenas comunidades ao longo de rodovias arteriais, criando conflitos entre o tráfego rápido da via principal com o tráfego lento dos usuários locais que entram e saem da rodovia. Esse problema é agravado quando esses conflitos envolvem veículos motorizados e usuários não motorizados (pedestres, ciclistas, etc.). Deve-se manter clara separação entre as áreas urbana e rural.
- Desenvolvimento de estabelecimentos comerciais ao longo de vias arteriais, criando combinações inseguras de tráfego (rápido e lento, pesado e leve). Para resolver esses problemas a publicação *Road Safety Good Practice Guide* (Department for Transport, 2001) recomenda as seguintes medidas:
  - Aumentar a prioridade dada aos pedestres e ciclistas e lhes atribuir espaços específicos, tais como faixas para ciclistas e passeios laterais mais largos;
  - Utilizar acessos específicos para dar ênfase à transição de um tipo de rodovia para outro;
  - Reduzir as dificuldades de certas manobras e impedir manobras inseguras;
  - Adotar faixas de tráfego mais estreitas e canalização (ciclistas devem ser levados em consideração).

b) Vias de acesso com volume significativo de usuários não locais

Decorre de erros nos estágios de planejamento ou de projeto (por exemplo, um sistema de ruas com ramos atravessando áreas residenciais). Um grande número de medidas do tipo "*traffic calming*" são disponíveis para reduzir volumes ou velocidades quando necessário (fechamentos de vias, desvios horizontais ou verticais, etc.).

c) Vias coletoras com uma mistura insegura de funções de mobilidade e acessibilidade

De acordo com Brindle (1989), são consequência de um sistema usual de classificação funcional criando um grande número de rodovias com diferentes funções misturadas, que constituem um grande problema em termos de segurança. Com base em experiências na Inglaterra, recomenda-se uma separação clara entre rodovias de maior acessibilidade e as de maior mobilidade. Sendo as rodovias coletoras necessárias para assegurar a integração dessas rodovias, constituem a categoria mais difícil de definir e de manter condições seguras de tráfego.

Figura A.4 – Problemas de coerência do ambiente rodoviário

Largura excessiva leva a velocidades altas

Rodovia inadequada para boa mobilidade e volumes de tráfego elevados

Mistura desordenada de veículos motorizados e não motorizados em área urbana

Mistura desordenada de veículos motorizados e não motorizados em área rural

Veículos desgovernados podem ser dirigidos à barreira vertical da estrutura de drenagem

Incoerência entre o nível de desenvolvimento e a velocidade permitida

A.2 ALINHAMENTO HORIZONTAL

O alinhamento horizontal de uma rodovia compreende trechos em tangente, curvas circulares (com raio constante) e curvas em espiral, com raio variando continuamente, para permitir transferência gradual entre segmentos da rodovia com diferentes raios. Várias combinações desses três componentes básicos são possíveis.

A.2.1 ACIDENTES

Diversos estudos foram feitos para estimar o risco de acidentes em curvas horizontais. Suas principais conclusões foram:

- O índice de acidentes em curvas é de 1,5 a 4 vezes maior que em trechos em tangente (Zegeer et al., 1992);
- Os acidentes em curvas são muito severos. De 25 a 30% dos acidentes fatais ocorrem em curvas (Lamm et al., 1999);
- Rodovias rurais secundárias, que são construídas com características técnicas inferiores (incluindo curvas mais frequentes e com raios menores) têm em média uma maior proporção de acidentes em curvas. Na França, de 30 a 40% de todos os acidentes nas principais rodovias rurais ocorrem em curvas; a proporção em rodovias secundárias está entre 55 e 60% (SETRA, 1992);
- Aproximadamente 60% de todos os acidentes em curvas horizontais ocorrem com veículos que saem da rodovia (Lamm et al., 1999);
- A proporção de acidentes em superfícies molhadas é elevada em curvas horizontais;

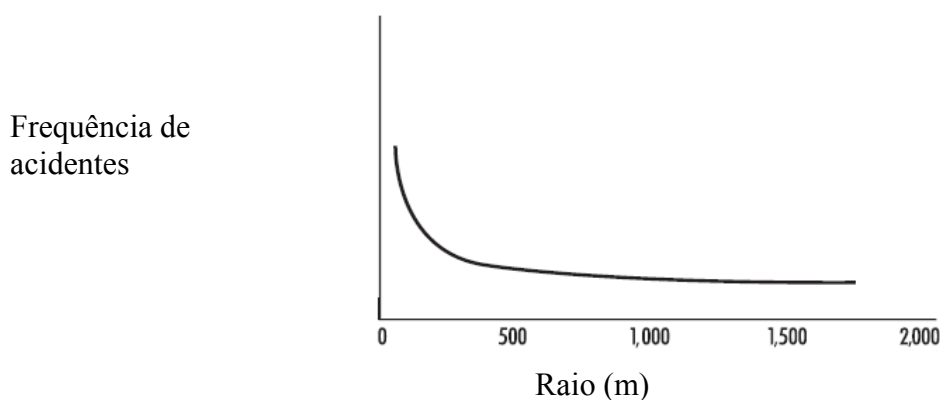
- Acidentes ocorrem principalmente nos extremos das curvas. Council (1998) observa que em 62% dos acidentes fatais e 49% dos outros acidentes que ocorrem em curvas, a primeira manobra que levou ao acidente foi feita no início ou no fim da curva.

Quanto maior for a redução de velocidade requerida pela curva, maior a probabilidade de erro e acidente (por aproximação excessiva de outro veículo, derrapagem, saída da rodovia, etc). O risco é ainda maior quando a redução de velocidade é inesperada ou pouco comum (curva isolada com raio pequeno).

A.2.2 CURVAS

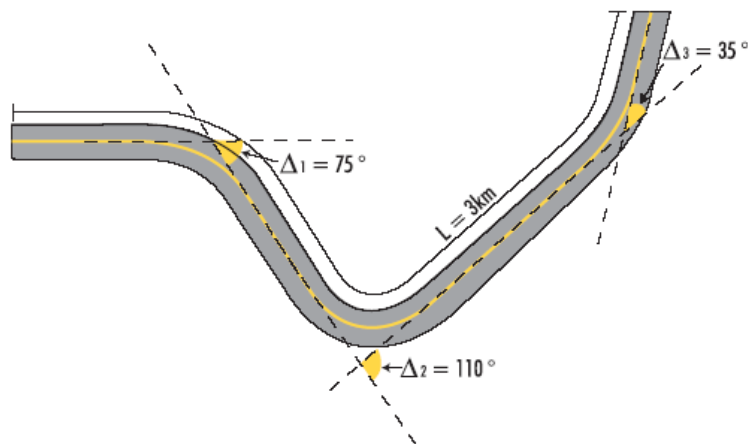
A.2.2.1 Segurança nas curvas

Em rodovias rurais, a frequência de acidentes geralmente aumenta quando os raios das curvas diminuem. A Figura A.5 mostra uma relação comumente encontrada entre a frequência de acidentes e o raio da curva. Verifica-se que o aumento de acidentes é significativo quando o raio da curva é menor que 400 m.

Figura A.5 – Frequência de acidentes e raios das curvas

A frequência de acidentes na curva é influenciada por suas características (raio, ângulo de deflexão, atrito, superelevação) e pelas características do alinhamento antes da mesma (comprimento da tangente anterior à curva e curvatura média).

A curvatura média da rodovia, em graus por km, é exemplificada na Figura A.6.

$$\text{Curvatura média} = \frac{75^\circ + 110^\circ + 35^\circ}{3 \text{ km}} = 73^\circ/\text{km}$$

Figura A.6 – Curvatura de uma rodovia

A.2.2.2 Curva em espiral

Curvas em espiral, também conhecidas como curvas de transição ou clotóides, constituem o terceiro elemento de um alinhamento horizontal, junto com as tangentes e curvas circulares. De acordo com Lamm et al. (1999), as curvas em espiral:

- Aumentam o conforto de dirigir, permitindo o crescimento e redução natural da força centrífuga quando um veículo entra e sai de uma curva;
- Minimizam conflitos laterais e tornam mais uniformes as velocidades;
- Facilitam o escoamento da água na zona de transição da superelevação;
- Melhoram a aparência da rodovia, eliminando quebras de continuidade no início e fim das curvas circulares;
- Facilitam a transição da largura, em que a seção do pavimento é alargada em torno de uma curva circular (superlargura).

Curvas em espiral são calculadas usando a seguinte equação:

$$R = \frac{A^2}{L_S}$$

Onde:

R = raio da curva à distância L (m)

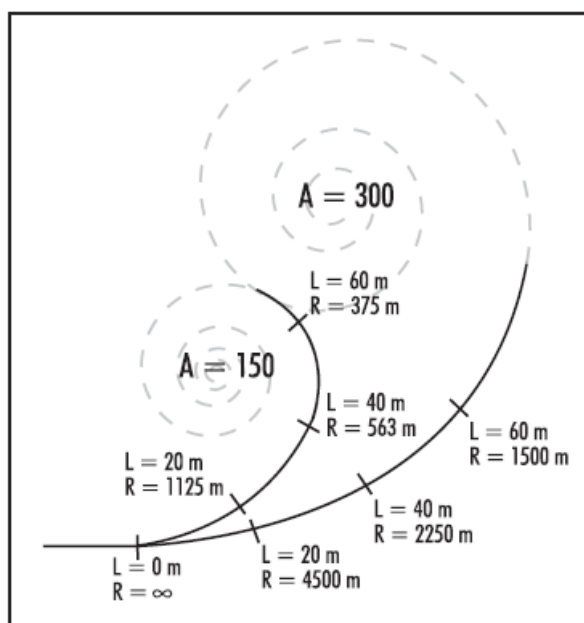
A = parâmetro da curva espiral (m)

L_S = distância percorrida a partir do início da curva (m)

A Figura A.7 mostra as curvas correspondentes a A = 150 m e A = 300 m.

Curvas espirais muito longas devem ser evitadas porque podem dificultar a percepção visual da curva e contribuir para problemas de drenagem.

De acordo com Council (1998), uma curva espiral reduz os índices de acidentes de 8% a 25% em rodovias com padrão elevado de projeto. Entretanto, conclui que as melhorias de segurança que as curvas de transição trazem são menos evidentes em rodovias com características geométricas de padrão inferior.

Figura A.7 – Curvas em espiral

A.2.2.3 Curva composta

Curva composta é a curva formada quando dois trechos em tangente são conectados por dois ou mais arcos de círculo sucessivamente tangentes girando no mesmo sentido.

Curvas compostas devem ser evitadas, porque as variações súbitas de raio podem surpreender os motoristas e aumentar o risco de erros e acidentes. O risco é maior quando um raio pequeno vem após um raio grande. Estudos indicam que a redução de 50% do valor do raio em uma distância de mais de 30 m aumenta o número de acidentes. É recomendável que os raios de duas curvas sucessivas sejam de valores próximos não diferindo mais que a razão 1,5:1, podendo-se chegar a 2:1 nas interseções. Geralmente é possível substituir o conjunto irregular por uma curva de raio único ou combinado com um trecho de clotóide, sem grandes alterações do alinhamento.

A.2.2.4 Grau de curva

A Tabela A.2 mostra as reduções de acidentes resultantes de reduções do grau da curva baseadas em análises de dados coletados em 10.900 curvas horizontais de rodovias americanas, localizadas entre tangentes de 200 m ou mais.

Tabela A.2 – Redução percentual de acidentes devido à redução do grau da curva

Grau da curva (*)		Ângulo de deflexão				
Antes	**Depois**	**10°**	**20°**	**30°**	**40°**	**50°**
30	25	17	17	17	16	16
30	20	33	33	33	33	33
30	15	50	50	50	50	50
30	12	60	60	60	60	60
30	10	67	66	66	66	66
30	8	73	73	73	73	73
30	5	83	83	83	83	83
25	20	20	20	20	20	20
25	15	40	40	40	40	40
25	12	52	52	52	52	51
25	10	60	60	60	59	59
25	8	68	68	68	67	67
25	5	80	80	79	79	79
20	15	25	25	25	25	24
20	12	40	40	40	39	39
20	10	50	50	49	49	49
20	8	60	60	59	59	59
20	5	75	74	74	74	74
15	10	33	33	33	32	32
15	8	46	46	46	46	45
15	5	66	66	65	65	65
15	3	79	79	78	78	78
10	5	49	48	48	47	47
10	3	69	68	67	66	66
5	3	37	35	33	32	31

Fonte: Zegeer e outros, 1990
(*) Ângulo central correspondente a um arco de círculo com comprimento de 100 m.

A.2.3. DIFERENÇAS DE VELOCIDADES

A.2.3.1. Diferenças de velocidades entre trechos sucessivos

A velocidade de operação é influenciada por diversos fatores: motorista, rodovia, condições das margens da rodovia, características dos veículos e condições atmosféricas e do tráfego. O alinhamento horizontal é sem dúvida o fator mais importante.

As variações da velocidade ao longo da rodovia têm um impacto direto na segurança; quanto maior e mais inesperada a variação, maior é a probabilidade de colisão. As rodovias de padrão elevado devem ser projetadas de modo a permitir que os usuários trafeguem com segurança, com uma velocidade relativamente constante, que atenda às suas necessidades e expectativas. Caso contrário, há probabilidade de que ocorram erros.

No início da década de setenta, pesquisadores alemães desenvolveram regras para ajudar os projetistas a escolher sequências de alinhamentos que reduziriam as variações das velocidades de operação ao longo de uma rota. Este método, já apresentado no *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais* – DNER – 1999, é considerado uma grande melhoria dos métodos tradicionais, que simplesmente verificavam a obediência aos raios mínimos fixados.

As regras a obedecer podem ser expressas em termos de diferenças de velocidades. Lamm e outros (1999) recomenda a verificação da qualidade do projeto, comparando as velocidades respeitadas por 85% dos carros de passeio (V_{85}) para cada par de segmentos sucessivos da rodovia. Se as diferenças de velocidades forem menores que 10 km/h, o projeto é considerado bom; entre 10 km/h e 20 km/h, aceitável; acima de 20 km/h, inferior. Na Espanha usa-se um critério similar, baseado na velocidade V_{99} (Tabela A.3).

Tabela A.3 – Qualidade de projeto

Lamm		**Espanha**	
Diferença de velocidade ΔV_{85} (km /h)	**Qualidade de projeto**	**Diferença de veloc. ΔV_{99} (km /h)**	**Qualidade de projeto**
< 10	Bom	< 10	Bom
10 – 20	Aceitável	15 –30	Razoável
> 20	Inferior	30 – 45	Inferior
		> 45	Ruim

Fonte: Lamm et al. Highway design and trafic engineering handbook.
Copyright 1999 by McGraw-Hill Compagnie, Inc.

Determinação da qualidade do projeto

Apresenta-se a seguir um exemplo desenvolvido por Lamm et al, 1999, para rodovia rural com 2 faixas.

a) Premissas básicas

- A velocidade de operação em uma curva é suposta constante e é calculada usando uma equação de regressão (A Tabela A.4 apresenta equações de diversos países);
- A velocidade de um veículo em uma tangente é calculada com a mesma equação, usando CCR=0;
- Quando se aproxima ou sai de uma curva a aceleração e desacelerações recomendadas são iguais a 0,85m/s^2 .

Tabela A.4 – Modelos de regressão para velocidades de operação

País	Modelo (km/h)	Velocidade limite (km/h)
França	$V_{85} = \dfrac{102}{1+346(CCR/63700)^{1,5}}$	90
(U.S.A)	$V_{85} = 103,04 – 0,053\ CCR$	90
Alemanha	$V_{85} = \dfrac{10^6}{8.270 + 8,01\ CCR}$	190
Austrália	$V_{85} = 101,2 – 0,043\ CCR$	90
Canadá	$V_{85} = e^{(4,561 – 5,27 \times 10 \quad CCR)}$	90

Fonte: Lamm et.al. Highway design and traffic safety engineering handbook, 1999

$$CCR = \frac{57.300}{R}$$

Onde:

CCR = Ângulo central correspondente a um arco de círculo com comprimento de 1000 m (graus)

R = raio da curva (m)

b) Procedimento

Passo 1 – Calcule os parâmetros:

Tabela A.5 – Definição dos parâmetros

Parâmetros	Descrição	Fonte
V_{C1}	Velocidade de operação na curva 1	Equações na Tabela HA-A1
V_{C2}	Velocidade de operação na curva 2	Equações na Tabela HA-A1
L_t	Comprimento da tangente entre as duas curvas	Medidas do local/projeto
$V_{t\,85}$	Velocidade desejada	Equações na Tabela HÁ-A1, CCR =0
TL_{min}	Comprimento necessário da tangente para um veículo passar da velocidade inicial V_{C1} para a velocidade final V_{C2} com uma aceleração ou desaceleração de a ou d.	$TL_{min} = \left\| \frac{V_{C1}^2 - V_{C2}^2}{25.92\ a} \right\|$ ou $TL_{min} = \left\| \frac{V_{C1} - V_{C2}^2}{25.92\ d} \right\|$
TL_{max}	Comprimento necessário da tangente para um acelerar de uma velocidade inicial V_{C1} para uma velocidade desejada $V_{t\,85}$ e desacelerar para uma velocidade final V_{C2} com aceleração e desaceleração respectivamente de a e d.	$TL_{max} = \left\| \frac{V_{C1}^2 - V_{t85}^2}{25.92\ a} \right\| + \left\| \frac{V_{t85}^2 - V_{C2}^2}{25.92\ d} \right\|$
$V_{t\,max}$	Velocidade máxima alcançada quando o comprimento da tangente não permite que o motorista alcance a velocidade desejada.	$V_{t\,max} = \sqrt{\frac{V_{C1}^2 + V_{C2}^2 + 25.92\ a \cdot L_t}{2}}$

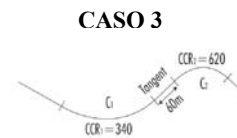
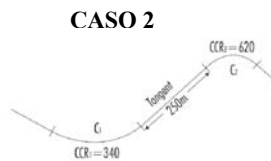
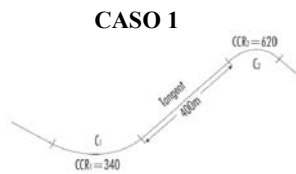
Passo 2 – Siga o algoritmo abaixo:

$L_t < TL_{min}$ Sim Compare V_{C1} com V_{C2}

Não Siga o passo seguinte

$L_t > TL_{max}$ Sim Compare $V_{t\,85}$ com V_{C1} e $V_{t\,85}$ com V_{C2}

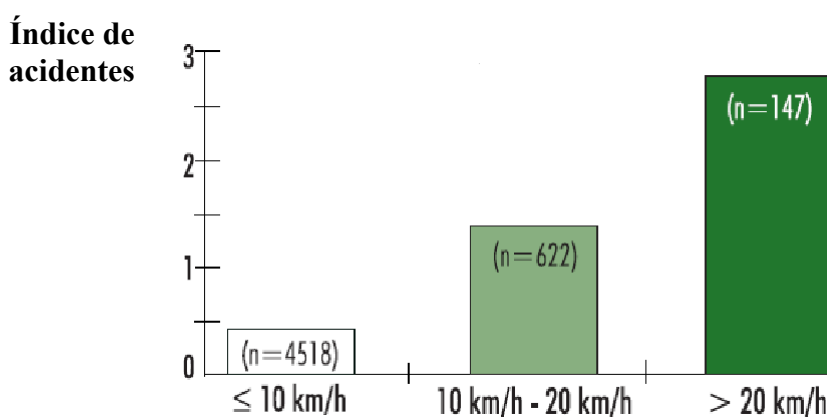
Não Compare $V_{t\,max}$ com V_{C1} e $V_{t\,max}$ com V_{C2}

c) Exemplos

2 Curvas	**2 Curvas**	**2 Curvas**
CCR_1 = 340	CCR_1 = 340	CCR_1 = 340
CCR_2 = 620	CCR_2 = 620	CCR_2 = 620
Separadas por uma tangente de 400 m	Separadas por uma tangente de 250 m	Separadas por uma tangente de 60 m
Equação francesa de velocidade	**Equação francesa De velocidade**	**Equação francesa de velocidade**
V_{C1} = 90 km/h V_{C2} = 77 km/h L_t = 400 m	V_{C1} = 90 km/h V_{C2} = 77 km/h L_t = 250 m	V_{C1} = 90 km/h V_{C2} = 77 km/h L_t = 60 m
$V_{t\,85}$ = 102 km/h TL_{min} = 99 m TL_{max} = 308 m $V_{t\,m\backslash x}$ = 106 km /h L_t < TL_{min} ? não L_t > TL_{max} ? sim	$V_{t\,85}$ = 102 km/h TL_{min} = 99 m TL_{max} = 308 m $V_{t\,m\backslash x}$ = 99 km /h L_t < TL_{min} ? não L_t > TL_{max} ? não	$V_{t\,85}$ = 102 km/h TL_{min} = 99 m TL_{max} = 308 m $V_{t\,m\backslash x}$ = 88 km /h L_t < TL_{min} ? sim
Compare portanto	**Compare portanto**	**Compare portanto**
$V_{t\,85}$ com V_{C1}; $V_{t\,85}$ com V_{C2}	**$V_{t\,max}$ com V_{C1};V_{tmax} com V_{C2}**	**V_{C1} com V_{C2}**
102 km/h vs 90 km/h	99 km/h vs 90 km/h	90 km/h vs 77 km/h
Aceitável	**Bom**	**Aceitável**
102 km/h vs 77 km/h **Inferior**	99 km/h vs 77 km/h **Inferior**	

A.2.3.2 Segurança entre trechos sucessivos

Anderson e outros, em 1999, analisaram o impacto da diferença das velocidades V_{85} de trechos sucessivos no número de acidentes. O estudo foi feito com base em dados coletados em 5.287 curvas, chegando aos resultados (Figura A.8):

- Se a diferença de velocidades V_{85} é superior a 20 km/h, o índice de acidentes é o dobro do índice correspondente a uma diferença situada entre 10 e 20 km/h;
- Se a diferença de velocidades V_{85} é superior a 20 km/h, o índice de acidentes é seis vezes maior que o índice correspondente a uma diferença menor que 10 km/h.

Figura A.8 – Índices de acidentes e diferenças entre velocidades V_{85}
(n = número de curvas)

A.2.4 CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE

A força de atrito transversal em uma curva tem um forte impacto na velocidade máxima com que pode ser percorrida. Por exemplo, para uma curva com raio de 300 m, superelevação de 0,06 e coeficiente de atrito transversal (f_t) de 0,30, a velocidade máxima (teórica) é 108 km/h. Para o valor f_t = 0,80 a velocidade máxima é 148 km/h. Os coeficientes de atrito utilizados para efeito de projeto f_{tp} são geralmente muito inferiores aos valores disponíveis nas rodovias, e se situam normalmente entre 0,08 e 0,16.

A escolha do valor de f_{tp} se baseia nos seguintes objetivos:

- Prover uma margem de segurança para condições de tempo adversas;
- Evitar aumentos excessivos das distâncias de frenagem em curvas (Figura A.9);
- Oferecer conforto aos ocupantes dos veículos.

Como resultado, as curvas horizontais podem frequentemente ser percorridas com velocidades superiores às adotadas no projeto (em condições favoráveis). Cientes disso, alguns motoristas adotam velocidades muito elevadas, reduzindo com isso suas margens de segurança. Trata-se de um hábito que pode se tornar desastroso se a força de atrito de uma curva for baixo e o motorista não desacelerar o suficiente (os motoristas podem ter dificuldade em identificar os locais com problemas de atrito transversal). Quando a força de atrito disponível na curva for menor que a necessária, o motorista perde o controle do veículo. O coeficiente de atrito necessário pode ser calculado pela seguinte equação:

Figura A.9 – Forças de atrito em uma curva horizontal

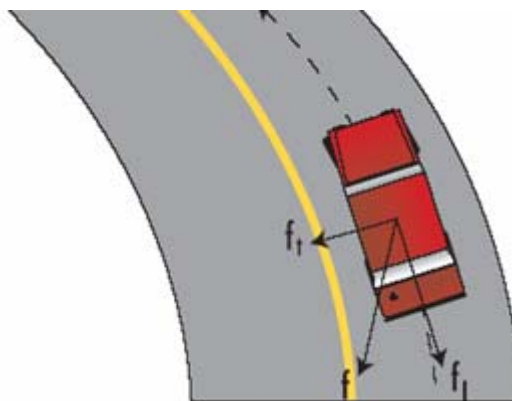
$$f_r = \frac{V_{85}^2}{127\ R} - e$$

onde:

R = raio da curva (m)

V_{85} = velocidade (km/h)

e = superelevação (m/m)

f_r = fator de atrito requerido para V_{85}

$$f^2 = f_l^2 + f_t^2$$

onde:

f = coeficiente de atrito (total)

f_l = coeficiente de atrito longitudinal

f_t = coeficiente de atrito transversal

Quando se está freando em uma curva, a força de atrito total disponível se distribui entre sua componente longitudinal (f_l), requerida para frenagem, e sua componente transversal (f_t), requerida para mudança de direção. Para evitar excessivos aumentos da distância de frenagem, são selecionados valores de f_{tp} não superiores a 40% ou 50% da força de fricção esperada em condições difíceis, de modo que cerca de 90% da força total de fricção permaneça disponível para manobras de frenagem.

A.2.5 TOMBAMENTO

Quando a força de atrito é elevada, alguns veículos pesados podem tombar ao invés de derrapar. O fator de estabilidade estática depende da distância entre os centros das rodas e da altura do centro de gravidade do veículo (Figura A.10).

O limite de tombamento é FET= t/2h

onde: FET = limiar de tombamento lateral

t = largura entre rodas (m)

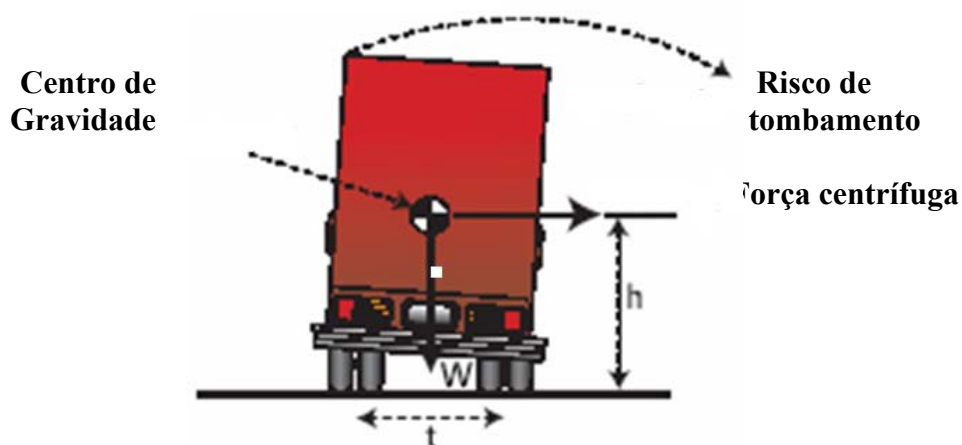
h = altura do centro de gravidade (m)

Quando o valor de FET é maior que o coeficiente de atrito transversal em uma curva (f_t), o veículo tombará ao invés de deslizar transversalmente à rodovia. O risco de tombamento é geralmente pequeno em carros de passeio, em que FET é relativamente grande (tipicamente entre 1 e 1,5g). Entretanto, alguns veículos pesados têm valores de FET muito baixos (da ordem de 0,3 a 0,8g) e o risco de tombamento é muito maior.

Figura A.10 – Tombamento

Centro de Gravidade

Risco de tombamento

Força centrífuga

A velocidade necessária para tombamento é dada pela equação:

$$V_t = \sqrt{127R\left(e + \frac{t}{2h}\right)}$$

Onde:

V_t = velocidade de tombamento (km/h)

R = raio da curva (m)

e = superelevação (m/m)

A.2.6 SUPERELEVAÇÃO

Superelevação é a inclinação transversal para a parte interna de uma curva horizontal (Figura A.11). Ela reduz levemente a força de atrito necessária para contrabalançar a atuação da força centrífuga e aumenta o conforto dos ocupantes do veículo. Desta forma, a velocidade máxima em uma curva aumenta com a superelevação.

Figura A.11 – Superelevação em curva

Superelevação excessiva pode fazer com que veículos lentos deslizem para a parte interna da curva se o coeficiente de atrito entre a pista e os pneus for muito pequeno. Em geral, valores de superelevação de 5 a 8% são recomendados para projeto.

Uma zona de transição entre a tangente e a curva horizontal é necessária para a introdução gradual da superelevação. Em locais em que toda ou parte da seção da pista se situa no plano horizontal pode haver acúmulo de água, que contribui para escorregamento transversal (Figura A.12). Deve ser dada atenção especial à drenagem nessa área.

O maior raio de curva em que é exigida superelevação varia substancialmente entre diferentes países (900 m na França e 5.000 m na Espanha e no Brasil, em rodovias com características técnicas elevadas).

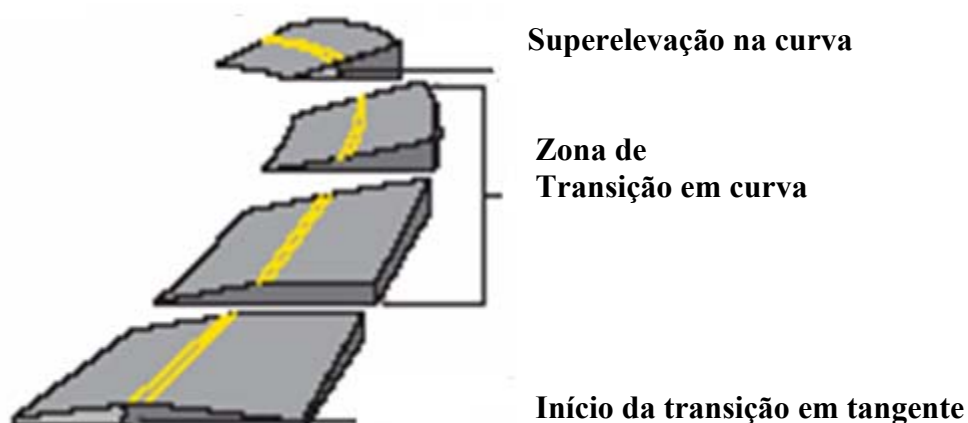
Dunlap e outros (1978) determinaram através de pesquisas que os números de acidentes em pavimentos molhados são anormalmente altos em curvas com superelevação inferior a 2%.

Zeeger e outros (1992) verificaram que a melhoria da superelevação pode reduzir o número de acidentes em 5 a 10%.

Figura A.12 – Desenvolvimento da superelevação

Superelevação na curva

Zona de Transição em curva

Início da transição em tangente

A.2.7 SUPERLARGURA

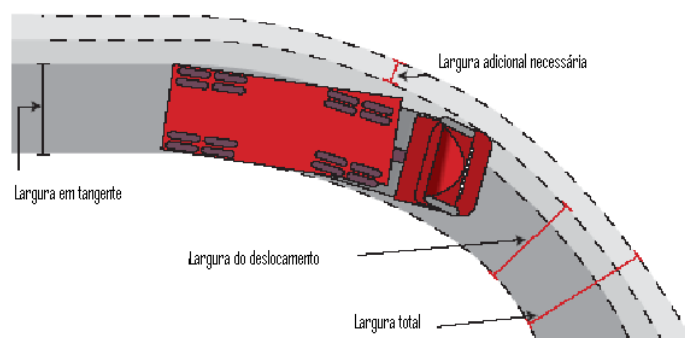
A.2.7.1 Descrição

Em curvas horizontais, os raios das curvas percorridas pelos pneus dianteiros são maiores que os raios descritos pelos pneus traseiros, o que aumenta a largura necessária para acomodar todo o veículo, quando se faz comparação com a largura necessária nos trechos em tangente (Figura A.13). Essa largura adicional é desprezível no caso de veículos de passeio, mas pode ser significativa para veículos de carga compostos por várias unidades. Além disso, o acréscimo de largura pode levar à invasão da faixa de tráfego adjacente.

Torna-se necessário, portanto, determinar a necessidade de largura em função dos veículos em trânsito. Essas larguras dependem dos raios, das velocidades de operação e das características dos veículos.

Os volumes de tráfego também devem ser considerados. O manual de projeto do Canadá indica que rodovias com uma pista e dois sentidos de tráfego não necessitam de superlargura quando apresentam menos que 15 veículos de carga/hora em ambos os sentidos.

Há pouca uniformidade na orientação que diferentes países oferecem a esse respeito. O *Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas* – DNIT – 2010 apresenta as características dos veículos de projeto adotados no Brasil e as superlarguras necessárias nos trechos em curva.

Figura A.13 - Alargamento de faixa de tráfego em uma curva

A.2.7.2 Segurança

Krebs e Kleckner (1977) mostraram que o aumento da largura da pista reduz os índices de acidentes. A Figura A.14 apresenta os resultados encontrados.

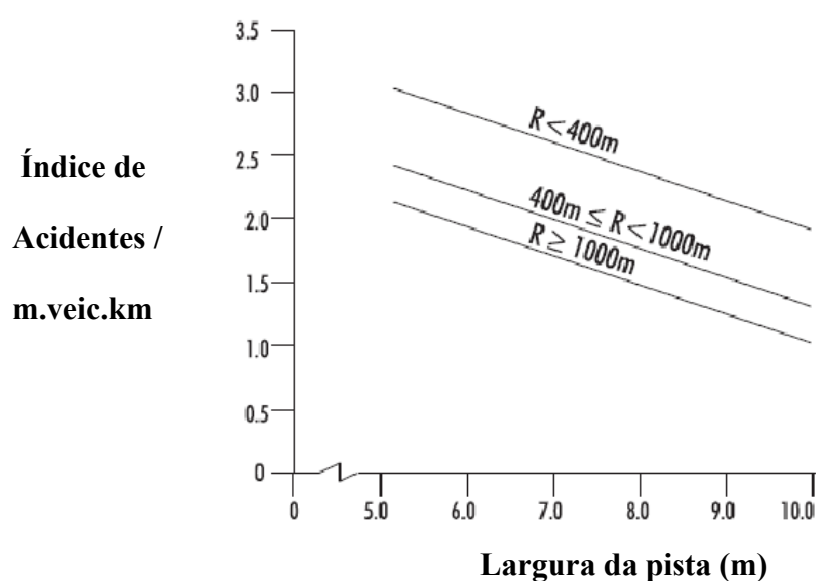
Figura A.14 - Índices de acidentes em curvas com diferentes larguras

A Tabela A.6, baseada em um estudo nos Estados Unidos (USA) feito por Zeeger e outros (1990), mostra as reduções de acidentes que podem ser esperadas com o alargamento de faixas de tráfego e acostamentos em curvas.

Tabela A.6 - Redução de acidentes em curvas devido a alargamento de faixas ou de acostamentos

Alargamentos (m)		Redução de acidentes (%)		
		Alargamento de Faixas	Alargamento de acostamentos pavimentados	Alargamento de acostamentos não pavimentados
Total	Por lado			
0,6	0,3	5	4	3
1,2	0,6	12	8	7
1,8	0,9	17	12	10
2,4	1,2	21	15	13
3,0	1,5	-	19	16
3,6	1,8	-	21	18
4,2	2,1	-	25	21
4,8	2,4	-	28	24
5,4	2,7	-	31	26
6,0	3,0	-	33	29

Fonte: Zeeger et al. (1990)

A.2.8 ACOSTAMENTOS

Em rodovias rurais os acostamentos devem ser estabilizados e livres de objetos, para facilitar a recuperação de veículos que os invadam. A qualidade dos acostamentos nas curvas merece atenção especial, porque a probabilidade de sua invasão por um veículo é maior.

A erosão pode danificar acostamentos de solo estabilizado, principalmente em áreas com muitas chuvas e abundante escoamento de águas, como por exemplo em curvas côncavas.

Desníveis entre a faixa de tráfego e o acostamento aumentam o risco de perda de controle (Figura A.15).

Figura A.15 – Acostamento em desnível

De acordo com estudos conduzidos por Zeeger (1992), a selagem dos acostamentos reduz o número de acidentes em 5%.

A.2.9 DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE PARADA - ÁREAS LATERAIS

Como em qualquer outro lugar de uma rodovia, a distância de visibilidade em um ponto de uma curva horizontal deve ser suficiente para permitir parar um veículo com segurança. Vários obstáculos situados nas partes internas das curvas podem prejudicar a visibilidade, como aterros, vegetação, construções, etc. Uma área lateral livre de obstáculos é necessária para garantir a segurança. As dimensões da área livre dependem da distância necessária para frenagem (Figura A.16).

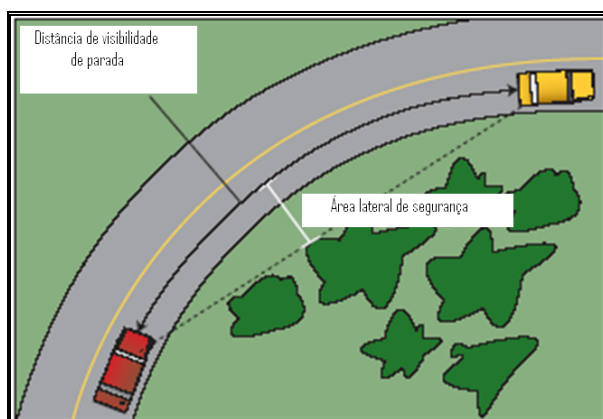
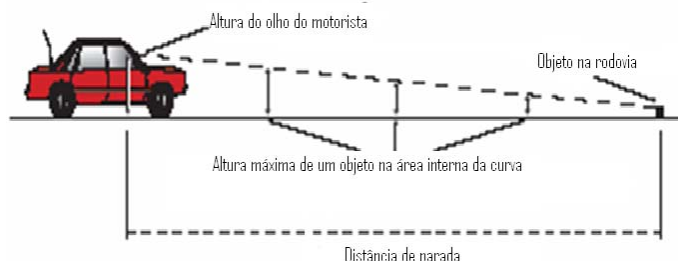
Figura A.16 - Área lateral de segurança na curva

Para a determinação da área livre, dois casos podem ser apresentados: a distância de frenagem excede o comprimento da curva ou não. As fórmulas para o primeiro caso são mais complexas e na prática raramente são necessárias. Em terreno plano a área lateral livre pode ser determinada graficamente desenhando várias retas ao longo da curva (Figura A.17). O comprimento de cada segmento corresponde à distância de parada (um extremo do segmento representa a posição do motorista e o outro representa o objeto na rodovia).

Figura A.17 – Determinação gráfica das linhas de visão em uma curva

Cabe observar que objetos relativamente baixos podem impedir a visibilidade. (Figura A.18).

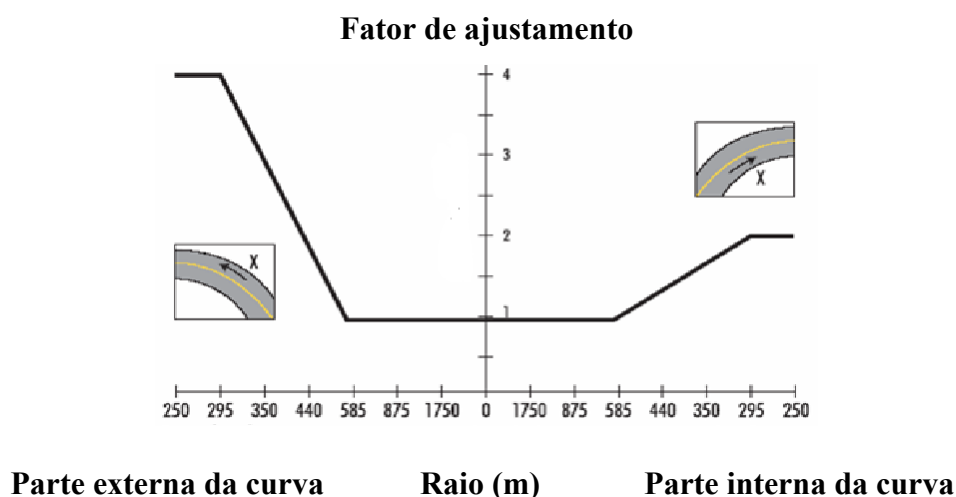
Figura A.18 – Altura máxima de um objeto na área interna da curva

As distâncias de frenagem para veículos pesados equipados com os sistemas convencionais são substancialmente maiores que as correspondentes a carros de passeio. Em alguns casos, a maior altura dos olhos pode compensar a maior distância de frenagem. Entretanto, isso pode não ser o caso quando os objetos laterais são altos. Em tais situações a área livre deve considerar a distância de frenagem calculada para veículos pesados.

A.2.10 ÁREAS LATERAIS DE SEGURANÇA

O índice de invasão lateral é muito maior em curvas que em trechos em tangente. De acordo com o *Roadside Design Guide*, AASHTO, 2002, esse índice é cerca de quatro vezes maior nas partes externas das curvas do que em tangente, e duas vezes maior nas partes internas (Figura A.19).

Figura A.19 - Índice de invasão lateral

Fator de ajustamento

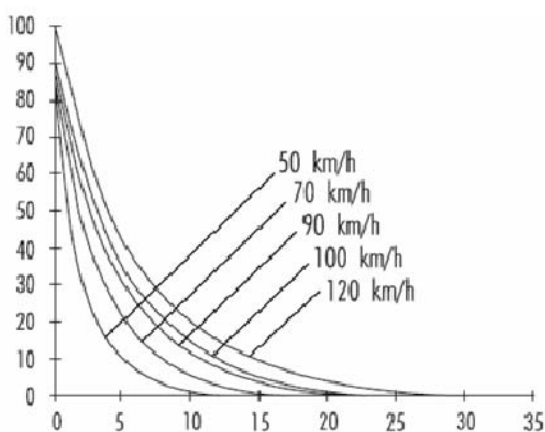
Parte externa da curva **Raio (m)** **Parte interna da curva**

Para reduzir a severidade dos acidentes resultantes de saídas da pista de rolamento, deve ser provida uma área livre de obstáculos ao longo da rodovia. Uma vez que a extensão do trecho sujeito a invasão lateral aumenta com a velocidade, a área livre de obstáculos também deve crescer com a velocidade

(Figura A.20). Devido a limitações orçamentárias, a largura da área livre também é influenciada pela categoria da rodovia e pelo seu volume de tráfego.

Nos Estados Unidos uma distância lateral de 10 m é geralmente recomendada para a área livre de obstáculos nas vias expressas, e valores maiores são adotados em alguns países da Europa. Quando a aquisição das áreas laterais ou as características do terreno tornam inviável atender as áreas livres recomendadas, barreiras laterais devem ser instaladas para proteger os usuários da rodovia dos perigos provocados pelas condições da área lateral. Deve-se reconhecer, entretanto, que essas barreiras também constituem problemas e não devem ser consideradas como preferenciais, com relação a um tratamento adequado das áreas laterais.

Figura A.20 - Extensão lateral da Invasão

Probabilidade (%)

50 km/h
70 km/h
90 km/h
100 km/h
120 km/h

Distância da invasão (m)

Taludes laterais muito inclinados também constituem um tipo de obstáculo lateral que deve ser evitado. As inclinações máximas admissíveis que podem ser controladas por veículos desgovernados são da ordem de 1:3 a 1:4. Os ângulos entre o acostamento e o talude e entre o talude e a área adjacente também devem ser substituídos por concordâncias suaves, como indicado na Figura A.21.

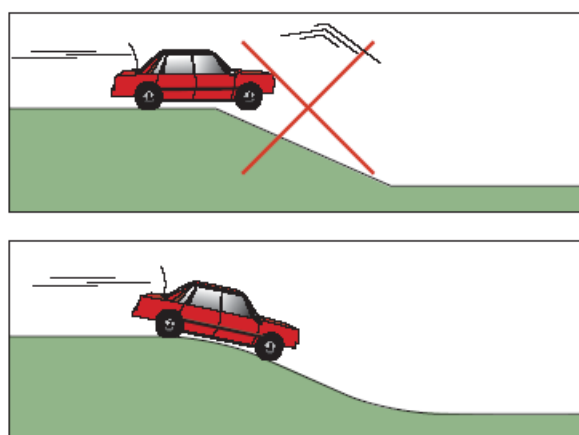
Figura A.21 - Suavização de taludes

Estimativas da redução de acidentes resultantes das melhorias nas áreas laterais, baseadas em estudos conduzidos por Zegeer em 1990 e 1992, são indicadas nas Tabelas A.7 e A.8.

Tabela A.7 - Redução de acidentes por aumento das áreas laterais de segurança

Aumento da área lateral de segurança (m)	Redução de acidentes (%)
1,5	9
2,4	14
3,0	17
3,7	19
4,6	23
6,1	29

Fonte: Zeeger et al. 1992

Tabela A.8 - Redução de acidentes por diminuição das inclinações dos taludes em curvas

Redução de acidentes após a diminuição do talude (%)				
Inclinação do talude antes da diminuição	Inclinação do talude após a diminuição			
	4:1	5:1	6:1	7:1 ou mais
2:1	6	9	12	15
3:1	5	8	11	15
4:1	-	3	7	11
5:1	-	-	3	8
6:1	-	-	-	5

Fonte: Zeeger et al. 1990

A.2.11 DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM

Oportunidades de ultrapassagem devem ser consideradas nas próprias curvas e em segmentos de rodovias, incluindo curvas e vários quilômetros de rodovias em seu entorno.

A.2.11.1 Na curva

Segmentos em tangente ou curvas de grandes raios são necessários para se conseguir a distância de visibilidade necessária para ultrapassagem com segurança. A ultrapassagem raramente é possível em curvas à direita a não ser que tenha raio muito grande, e mesmo assim, é uma manobra que deve ser evitada, porque o veículo que está sendo ultrapassado impede a visibilidade à direita. Sempre que a distância de visibilidade for insuficiente, a pintura do pavimento deve indicar claramente a proibição de ultrapassagem.

Raios de dimensões médias, mas que são pequenos para uma ultrapassagem segura, encorajam alguns motoristas a realizar manobras perigosas e devem ser evitados (Tabela A.9).

Tabela A.9 - Raios a serem evitados

País	Raio (m)
Inglaterra	700 – 2000
França	900 - 2000

A.2.11.2 Em um segmento maior da rodovia

Em rodovias rurais com duas faixas e dois sentidos de tráfego deve haver oportunidades de ultrapassagem que evitem a formação de longas filas e provoquem a execução de manobras perigosas. Alguns países recomendam a obediência a percentagens mínimas de trechos com distância de visibilidade de ultrapassagem (Tabela A.10).

Em rodovias com duas faixas e dois sentidos de tráfego as oportunidades de ultrapassagem são influenciadas não só pela percentagem de alinhamento com a requerida distância de visibilidade, mas também pela disponibilidade de intervalos suficientes para execução da manobra de ultrapassagem entre os veículos que vêm em sentido contrário. Maiores volumes de tráfego aumentam a demanda de ultrapassagens, mas reduzem os intervalos que as permitem, o que pode resultar na justificativa da construção de faixas adicionais.

Tabela A.10 - Percentagem mínima do alinhamento com distância de visibilidade para ultrapassagem

País	Percentagem mínima
Suíça, Alemanha	20%
França	25%
Inglaterra	15 – 40%*

* Dependendo da categoria da rodovia

A.2.12 SINAIS DE ADVERTÊNCIA

Quando motoristas devem reduzir suas velocidades antes de entrar em uma curva eles necessitam de uma advertência adequada com referência à redução de velocidade requerida. Em adição aos sinais indicando a presença da curva (e possivelmente da velocidade limite recomendada), outros tipos de dispositivos de advertência podem ser usados: marcas no pavimento, delineadores, ondulações transversais, sonorizadores, etc. (Figura A.22).

A natureza e intensidade da mensagem devem ser adaptadas às condições encontradas: a categoria da rodovia, a redução de velocidade requerida, a natureza inesperada da curva, sua visibilidade e as condições de conflito do tráfego. O uso das mesmas medidas de advertência para os mesmos tipos de situações é altamente recomendado para reduzir erros dos motoristas.

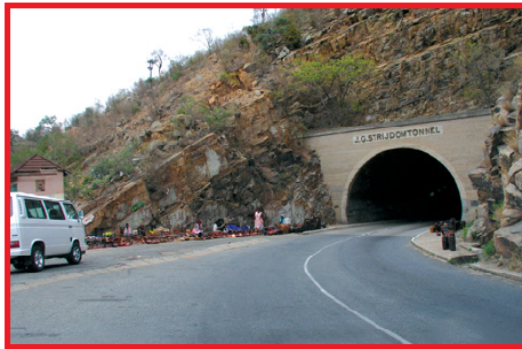
De acordo com Tignor, os sinais de advertência das curvas podem reduzir os acidentes em 20% (ITE, 1999).

Figura A.22 - Sinais de advertência da ocorrência de curvas fechadas

A.2.13 COMBINAÇÃO DE CONDIÇÕES

Devido às dificuldades inerentes à direção de veículos em curvas horizontais, nesses locais os motoristas podem ter problemas em lidar com aspectos estranhos que requeiram sua atenção. Por essa razão, deve-se evitar combinar curvas horizontais de raios menores com problemas que aumentem a

complexidade da direção: fontes potenciais de conflitos de tráfego (interseções, travessias, acessos privados), elementos que distraiam sua atenção (propaganda comercial, atividades ao lado da rodovia, etc.), ou outros elementos (morro, ponte estreita, fim de uma faixa de tráfego etc.)

Figura A.23 – Problemas em curvas horizontais

Estreitamento de uma rodovia e atividade comercial junto a túnel em curva

Acidente em uma interseção em curva

A.3. ALINHAMENTO VERTICAL

A.3.1 ACIDENTES

- Acidentes ocorrem mais frequentemente em trechos em rampa. Sua frequência aumenta com o valor do greide. Crescendo a frequência dos acidentes em 1,6% para 1% de variação do greide. (Harwood et al., 2000).
- A frequência de acidentes e sua severidade são maiores em descidas que em subidas, com uma grande participação de veículos pesados.
- A diferença de altura entre o topo e a parte mais baixa de uma rampa é um indicador mais confiável do risco de acidentes que a percentagem da rampa (*Service D'études Techniques des Routes et Autoroutes*, 1997).

Os principais elementos a considerar na análise da segurança de uma rampa são:

a) **Nas descidas**: aumento das distâncias de frenagem e a possibilidade de superaquecimento dos freios dos veículos pesados. O aumento da distância de frenagem pode ser elevado. A Tabela A.11 mostra que a partir de uma velocidade inicial de 100 km/h e com um coeficiente de atrito de 0,28, a distância aumenta 37% (78 m) quando se passa de um trecho em nível para uma rampa de 10%.

Tabela A.11 - Distâncias de parada

Greide na descida (%)	Distância de parada (m)
0	210
5	241
10	288

(velocidade inicial: 100 km/h, tempo de reação:2,5 seg, coeficiente de atrito: 0,28)

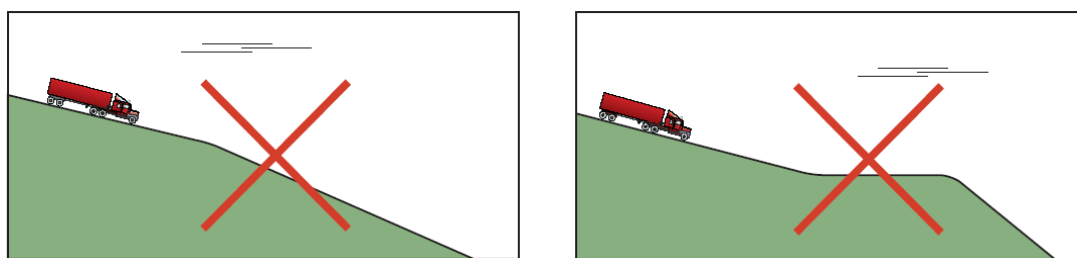
A temperatura crítica para os freios é 260°C. Acima desse valor a eficiência do sistema de freios é reduzida, devido a vários fenômenos físicos (expansão, deformação, etc.).

b) **Nas subidas:** diferenças de velocidades entre carros de passeio e veículos pesados;

c) **Em curvas verticais convexas:** distâncias de visibilidades restritas;

d) **Em curvas verticais côncavas:** acumulação de água e erosão acelerada dos acostamentos devido ao escoamento transversal das águas.

Greides compostos por segmentos com diferentes rampas também podem conduzir os motoristas a enganos nas suas expectativas quanto ao perfil vertical. Os motoristas de veículos pesados não familiarizados com a área podem iniciar sua descida com velocidades muito elevadas para as condições locais. A situação se agrava quando uma descida forte vem após uma rampa fraca.

Figura A.24 – Greides compostos por segmentos com diferentes rampas

A.3.2 RAMPAS MÁXIMAS

A título de ilustração apresenta-se na Tabela A.12 a seguir, os greides máximos permitidos em rodovias rurais de diversos países.

Tabela A.12 - Greides máximos (%) – Rodovias rurais

País	Velocidade diretriz (km/h)								
	40	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**
Austrália									
Plana	-	-	6 - 8	-	4 - 6	-	3 - 5	-	3 - 5
Ondulada	-	-	7 - 9	-	5 - 7	-	4 - 6	-	4 - 6
Montanhosa	-	-	9 - 10	-	7 - 9	-	6 - 8	-	-
Canadá	7	7	6 - 7	6	4 - 6	4 - 5	3 - 5	3	3
Rodovia Secundária	11	11	10 - 11	9	7 - 8	6 - 7	5 - 7	5 - 6	5
França	-	-	7	-	6	-	5	-	-
Alemanha	-	-	8	7	6	5	4.5	-	4
Grécia	-	11	10	9	8	7	5	4.5	4
Itália	10	10	7	7	6	5	5	5	5
Rodovia Secundária	12	-	10	-	7	6	6	-	-
Japão	7	6	5	-	4	-	3	-	2
África do Sul									
Plana	-	-	-	5	4	3.5	3	3	3
Ondulada	-	7	6	5.5	5	4.5	4	-	-
Montanhosa	10	9	8	7	6	-	-	-	-
Suíça	12	-	10	-	8	-	6	-	4
U.S.A									
Plana	-	-	5	5	4	4	3	3	3
Ondulada	-	-	6	6	5	5	4	4	4
Montanhosa	-	-	8	7	7	6	6	4	5

Fonte: Lamm et al. In Highway design and traffic safety engineering handbook - 1999.

A.3.3 DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE EM CURVAS VERTICAIS

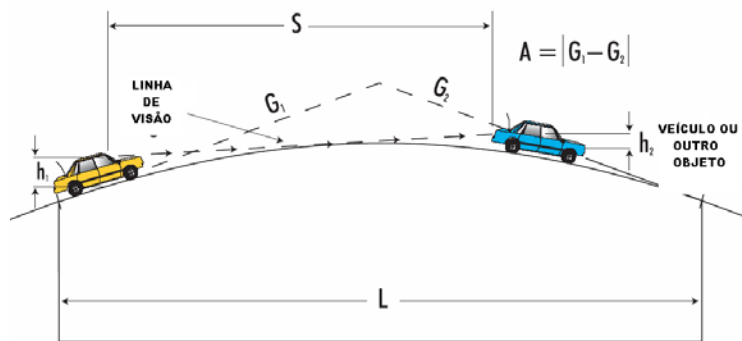
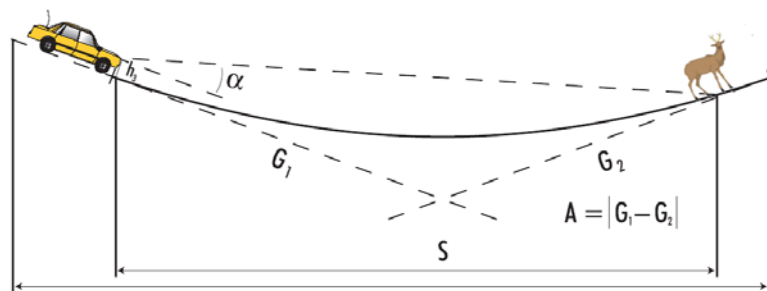
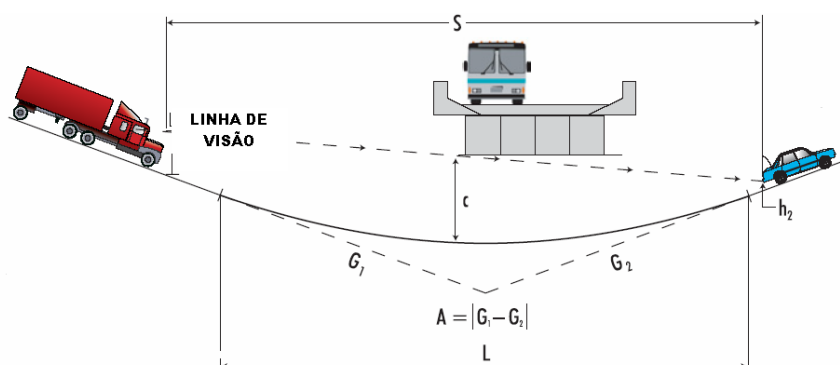
Os trechos retos de um alinhamento vertical são conectados por curvas verticais convexas ou côncavas (Figura A.25).

Essas curvas são caracterizadas pelos seus valores de K. À medida que K decresce, a curva se torna acentuada, com redução da distância de visibilidade disponível.

Problemas com distância de visibilidade são mais frequentes em curvas convexas que em côncavas, embora se deva verificar nesse caso possível redução de visibilidade provocada pelo ângulo dos eixos

dos raios luminosos dos faróis dianteiros (à noite) ou a interferência de estruturas transversais (viadutos, sinais, etc.). Este último caso é particularmente crítico para veículos de carga pesados, em que os olhos do motorista se situam mais altos que nos carros de passeio.

Figura A.25 - Distâncias de visibilidade em curvas verticais

– **Curvas verticais convexas**

– **Curvas verticais côncavas (alcance dos faróis)**

– **Curvas verticais côncavas (passando sob estruturas)**

A.4. FATORES HUMANOS

A.4.1 PERCEPÇÃO

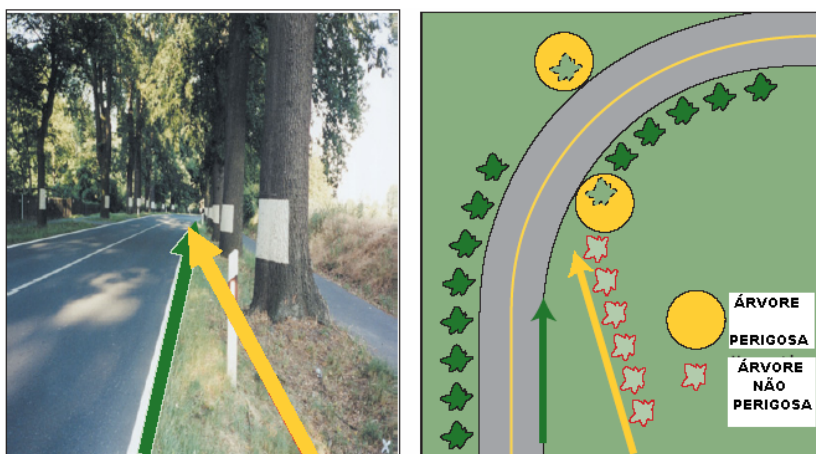
A. 4.1.1 Ilusões de ótica

a) Ilusão de distância

A convergência de linhas de orientação pode levar a estimativas incorretas de distâncias. Por exemplo, na Figura A.26, a convergência de uma linha de árvores tem os seguintes efeitos:

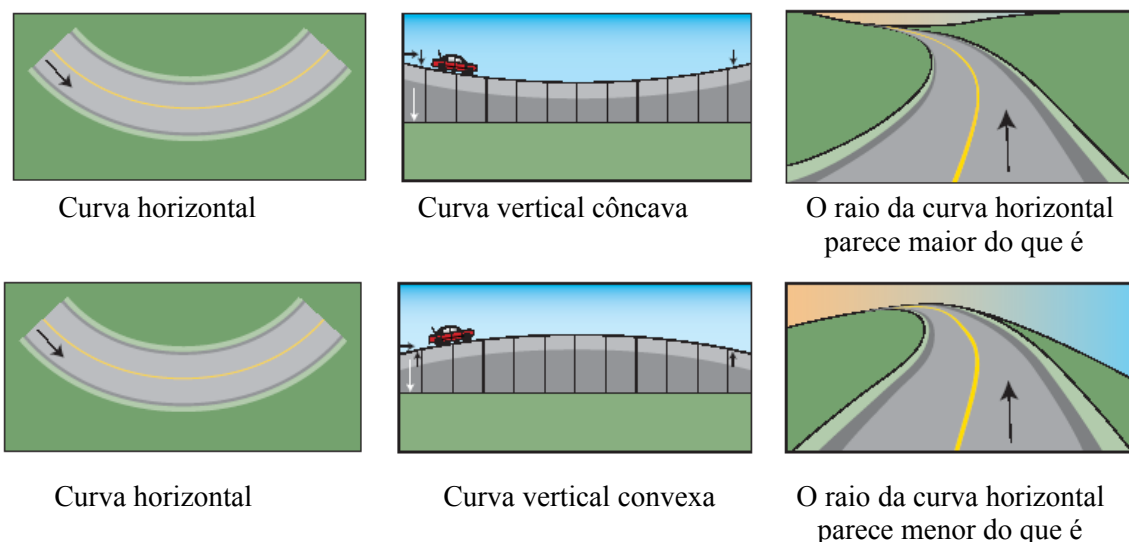
- A distância até a curva parece maior que a real;
- A distância lateral das árvores é superestimada;
- O veículo chega à curva antes do esperado, o que pode levar a manobras exageradas.

Linhas de orientação convergentes devem ser evitadas (marcações, bordas de pista, fileiras de árvores e postes, barreiras, defensas, etc).

Figura A.26 - Ilusão de ótica (Linha de árvores)

b) Ilusão de raio de curva

A combinação de uma curva horizontal com uma curva vertical côncava leva à ilusão de uma curva horizontal com raio maior que o real. Motoristas preparados para encontrar um raio maior têm que subitamente reduzir suas velocidades ao se aproximarem da curva. Esta é uma situação que pode provocar acidentes e deve ser evitada.

De forma inversa, a combinação de uma curva horizontal com uma curva vertical convexa leva à ilusão de uma curva horizontal com raio menor que o real, o que é mais seguro.

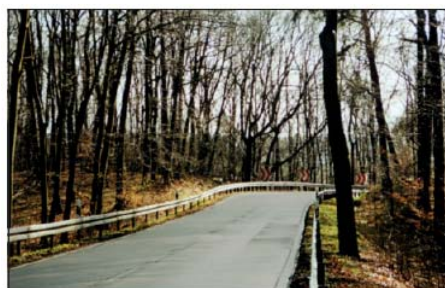
Figura A.27 - Ilusão de ótica (Combinação de curvas horizontal e vertical)

A.4.1.2 Contrastes

a) Sinalização

Os engenheiros rodoviários devem tomar as medidas necessárias para garantir contraste adequado entre a rodovia e a paisagem de fundo em qualquer época do ano e hora do dia, com uso de sinalização adequada.

Figura A.28 - Melhoria do contraste da sinalização

Antes

Depois

Boa visibilidade obtida com o amarelo

b) Intensidade da luz

Grande intensidade da luz e contraste forte reduzem o tempo de percepção. Para superfícies de rodovias, moderada densidade luminosa tem sido correlacionada com menor frequência de acidentes.

c) Brilho

Variações de intensidade do brilho da superfície podem criar distúrbio à visão e à percepção dos motoristas, devendo ser evitadas.

A.4.1.3 Sinais visuais e sonoros

Os motoristas reagem mais rapidamente a sinais sonoros que aos visuais. O ideal é que se juntem esses sinais.

Sonorizadores laterais tem-se mostrado muito eficientes em alertar aos motoristas que eles estão saindo da faixa de tráfego. Estudos mostram que podem reduzir os acidentes provocados por saídas da pista em até 30%.

Figura A.29 – Sonorizadores laterais

A.4.1.4 Idade dos motoristas

As necessidades dos motoristas mais velhos devem ser levadas em conta no estágio de projeto.

Os motoristas mais velhos apresentam:

- Maiores tempos de reação;
- Capacidades psicomotoras reduzidas;
- Capacidade visual reduzida, envolvendo:

  acuidade visual;

  sensibilidade a contraste;

  percepção de movimentos de objetos;

  campo lateral de visão;

  suscetibilidade ao excesso de iluminação.

A.4.2 ESCOLHA DA VELOCIDADE

A.4.2.1 Foco, visão periférica

Há uma relação entre a distância focalizada e a velocidade (Figura A.30). Quando as velocidades têm que ser mantidas baixas (por exemplo em zonas residenciais), as rodovias devem ser projetadas de modo a evitar longas distâncias focais.

Quanto maior a velocidade, mais estreito é o campo de visão (Figura A.31). Isto deve ser levado em conta na determinação das distâncias laterais da sinalização. Deve-se, entretanto, tomar cuidado em não transformar postes de sinalização em eventuais pontos de conflito.

Figura A.30 - Velocidade e ponto focalizado

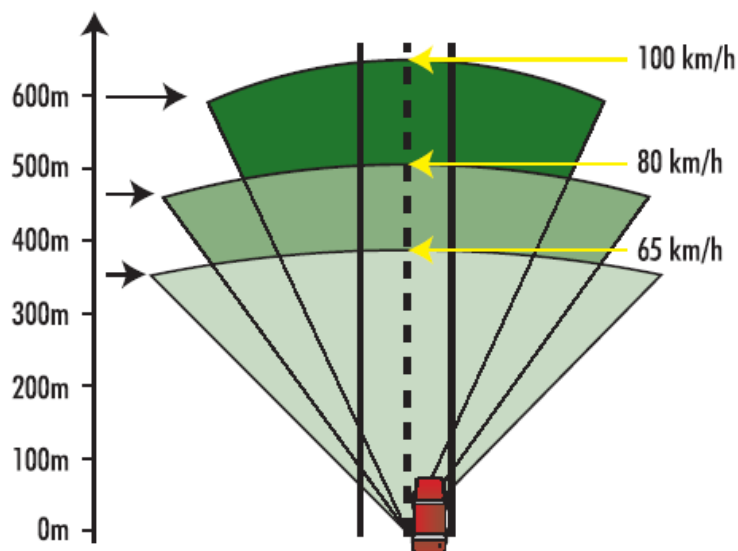



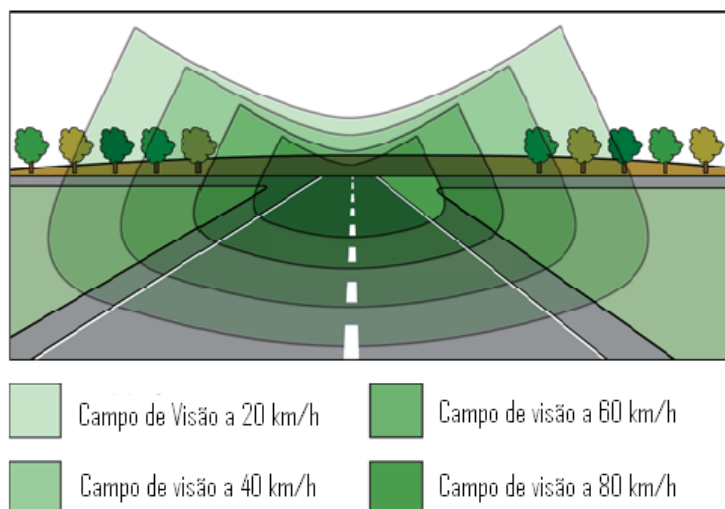
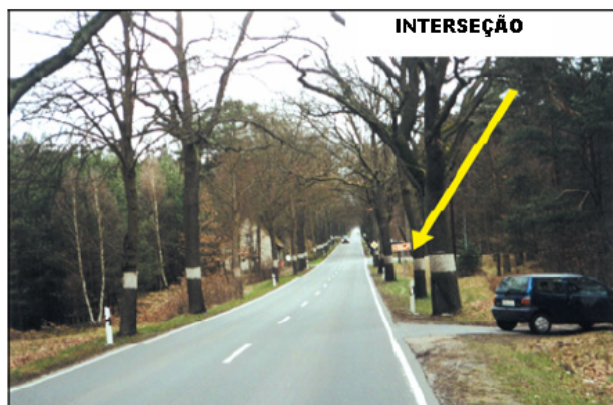
Figura A.31 - Velocidade e visão periférica

Na Figura A.32 reduz-se a distância focal utilizando delineamento, marcas no pavimento e tratamento superficial, aumentando muito a visibilidade da interseção.

Figura A.32 - Redução da distância focal

Antes

Combinação de uma interseção pouco visível com uma tangente contribui para aumentar a velocidade

Depois

Delineamento, marcas e o tratamento da superfície provocaram redução da distância focal e da velocidade, aumentando a visibilidade da interseção

As dimensões do campo visual de um motorista são influenciadas pela sua experiência e pela natureza da área atravessada (Tabela A.13).

São considerados ângulos de visão ótimos:

- Verticalmente: 20° para cima e 60° para baixo
- Horizontalmente: 15°a 20°.

Tabela A.13 - Campo visual

Experiência do Motorista	Tipo de Rodovia	Extensão do Campo Visual		
		Vertical	Horizontal (100 m)	Horizontal (200 m)
Experiente	Urbana	≤5°	9 m	18 m
	Rural	9° - 10°	18,5 m	37 m
Inexperiente	Urbana	≤5°	9 m	18 m
	Rural	6° - 7°	13 m	26 m

Fonte: Coheb, 1984; Theeuwes, 1995

A.4.2.2 Avaliação da velocidade

Os motoristas têm dificuldade em avaliar velocidades e distâncias. As figuras que se seguem podem ajudá-los a avaliar seus erros (Figuras A.33 e A.34).

Figura A.33 - Estimativa de erros (velocidade e distância)

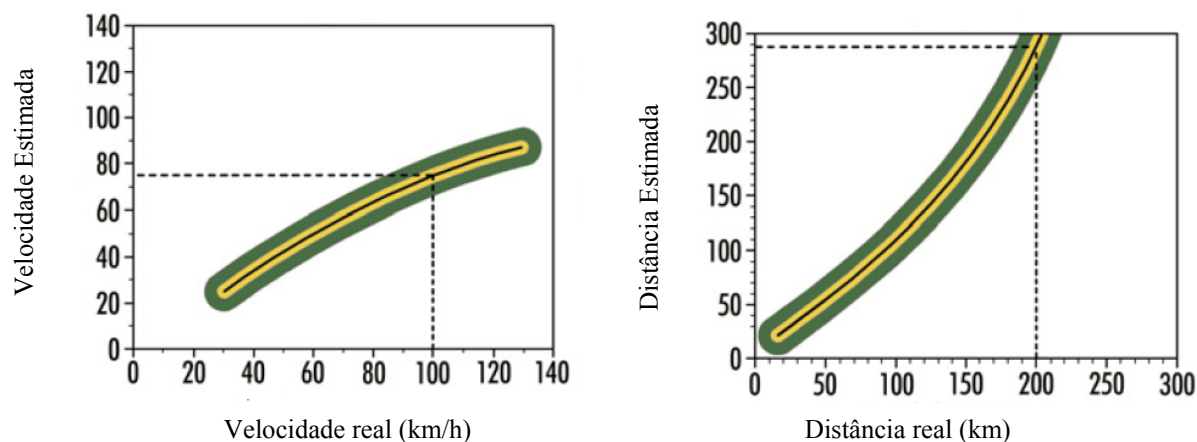
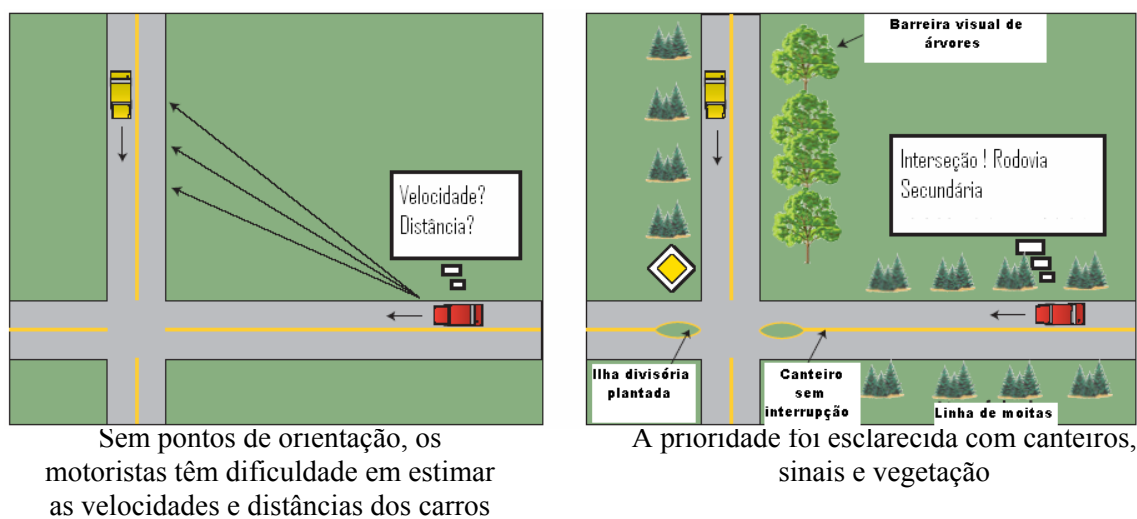



Figura A.34 - Melhorias em uma interseção

Sem pontos de orientação, os motoristas têm dificuldade em estimar as velocidades e distâncias dos carros

A prioridade foi esclarecida com canteiros, sinais e vegetação

A.4.3 ORIENTAÇÃO E ANTECIPAÇÃO

Para melhor funcionamento do sistema viário são necessários: um sistema adequado de classificação das vias, atenção às expectativas dos motoristas e provisão de trechos de transição.

A.4.3.1 Classificação funcional

Durante uma viagem, os motoristas devem ter a habilidade de reconhecer rapidamente a principal função da rodovia em que estão trafegando: se se trata de uma rodovia com função de mobilidade, que deve permitir velocidades elevadas, ou uma rodovia com função de acesso, que requer velocidades menores.

Isso exige o estabelecimento de um sistema hierárquico de rodovias com um número limitado de categorias – não mais que três ou quatro – em que cada uma tem uma função, e à qual correspondem parâmetros específicos de projeto.

Os motoristas associam sinais similares em grupos e reagem adotando forma semelhante de direção. Quanto maior for a clareza das características de uma categoria de rodovia, mais rápidas e homogêneas são suas reações e decisões e maior sua segurança.

Os projetistas devem adotar características pré-fixadas para a geometria, detalhes da superfície, sinais e demais elementos de cada categoria de rodovia.

Uma classificação funcional diferencia duas funções opostas do tráfego: a mobilidade, que objetiva permitir deslocamentos rápidos sobre distâncias que podem ser longas, e acessos entre as rodovias ou ruas e as propriedades e terras adjacentes. Uma função intermediária da rodovia (coletora ou distribuidora) deve ser provida de modo a limitar os pontos de acesso nas rodovias arteriais ou os volumes de tráfego nas vias de acesso.

Os aspectos distintos das áreas urbanas e rurais têm que ser reconhecidos, seja em termos de volumes e conflitos de tráfego, objetivos das viagens e seus comprimentos, tipos de usuários (motorizados ou não), densidade da rede viária, uso da terra e características dos acidentes. Rodovias rurais e urbanas devem ter conjuntos de características distintos e coerentes.

A Tabela A.14 descreve as características gerais dessas categorias básicas de rodovias. Na prática cada uma delas é dividida em diferentes subcategorias, cujos detalhes variam de país para país. O detalhamento apresentado é necessário para levar em conta a diversidade dos ambientes que podem adequadamente satisfazer a mesma função de tráfego. Por exemplo, ninguém se surpreende com o fato de que as características geométricas de uma rodovia arterial rural com VMD de 20.000, em uma região plana – provavelmente uma via expressa – serem superiores às de uma rodovia arterial rural com VMD de 3.000 em uma região montanhosa.

Tabela A.14 - Classificação funcional (características das rodovias)

Descrição	Rodovia arterial rural	Via arterial urbana
Função da Rodovia	• Mobilidade; • Ligação entre cidades (a nível nacional).	• Mobilidade
Características Geométricas	• Características elevadas de projeto (bom alinhamento, seção transversal larga, possibilidade de canteiro central, faixa lateral livre).	• Características elevadas de projeto (possibilidade de várias faixas de tráfego e de canteiro central).
Condições do Tráfego	• Fluxo de tráfego elevados; • Velocidade elevadas; • Apenas veículos motorizados.	• Fluxos de tráfego elevados; • Velocidades relativamente elevadas; • Apenas veículos motorizados (ausência de pedestres e ciclistas; quando necessário, são providas faixa especiais para esses usuários); • Possibilidade de baias para ônibus.
Interseções e Acessos	• Não permitidas em vias expressas (entradas e saídas apenas em interconexões); • Em vias arteriais não são permitidos acessos privado (apenas interseções bem espaçadas).	• Não permitidas em vias expressas (entradas e saídas em interconexões) • Em vias arteriais não são permitidos acessos privados (apenas interseções bem espaçadas que podem ser controladas por semáforos) • Não permitido estacionamento
Descrição	**Rodovia coletora rural**	**Via coletora urbana**
Função da Rodovia	• Ligação entre cidades de tamanhos médios (nível regional).	• Ligação entre distritos urbanos separados.
Características Geométricas	• Características médias de projeto.	• Características médias de projeto.
Condições do Tráfego	• Velocidade e fluxos de tráfego moderados; • As proporções dos fluxos de tráfego local e de longa distância variam com a importância coletora.	• Características médias de projeto; • Velocidades e fluxos de tráfego moderados • As proporções dos fluxos de tráfego local e de longa distância variam com a importância da rodovia coletora; • Pedestres e outros usuários não motorizados trafegam em faixas separadas ou em outras vias; • Ônibus podem parar na rodovia.
Interseções e Acessos	• Espaços menores entre interseções; • Acessos privados não proibidos, mas são controlados.	• Espaços menores entre interseções; • Acessos privados não são proibidos, mas são controlados mas são controlados; • O estacionamento na faixa lateral é proibido nas principais coletoras, mas pode ser permitido nas menores.
Descrição	**Rodovia local rural**	**Via residencial**
Função da Rodovia	• Acesso à área adjacente.	• Acesso às propriedades adjacentes.
Características Geométricas	• Características de projeto adaptadas a velocidades menores de rodovias de duas ou uma faixa.	• Características de projeto encorajando baixas velocidades (faixas de tráfego estreitas, cul-de-sacs, loops).
Condições do Tráfego	• Velocidades e fluxos de tráfego pequenos; • Usuários locais e veículos de entrega; • Podem estar presentes usuários não motorizados.	• Velocidades e fluxos de tráfego pequenos; • Usuários locais e veículos de entrega; • Usuários não motorizados estão presentes geralmente em grandes proporções e compartilham a rodovia com os motorizados.
Interseções e Acessos	• Os números de interseções e acessos não são controlados, mas suas características geométricas devem ser seguras.	• Os números de interseções e acessos não são controlados, mas suas características geométricas devem ser seguras; • O estacionamento na rua é permitido.

A.4.3.2 Expectativas dos motoristas

A expectativa é definida como “a prontidão com que um motorista responde a novas condições, eventos inesperados e informações apresentadas, de forma previsível e eficiente” (Lunenfeld and

Alexander, 1990). As expectativas são fortemente influenciadas pela experiência. Quando se deparam com situações inesperadas, os motoristas têm mais probabilidade de cometer erros e aumenta a possibilidade de acidentes. A experiência mostra que:

- Quanto mais previsíveis forem as condições da rodovia, menos prováveis serão os erros;
- Os motoristas tendem a antecipar a ocorrência de situações e eventos que são comuns à rodovia em que estão trafegando;
- As expectativas são associadas com todos os aspectos da tarefa de dirigir; configurações, geometria, operação e administração das regras do tráfego que vão contra ou violam as expectativas conduzem a maiores tempos de reação, confusão, resposta inadequada e erro do motorista;
- Os motoristas, na ausência de evidência em contrário, assumem que terão que reagir apenas a situações usuais;
- Os motoristas têm problemas em áreas de transição e locais com projeto ou operação inconsistente.

De acordo com Lunenfeld and Alexander, 1990, e Ogden, 1996, diferentes níveis de expectativas podem ser reconhecidos, a saber:

a) Expectativas de longo prazo

Adquiridas durante a vida do motorista e comuns a uma grande parte da população. Por exemplo, os sinais de parada têm sempre a mesma forma, cor, tamanho e são sempre localizados no mesmo lugar de uma interseção; saídas de vias expressas são sempre do mesmo lado da rodovia; o sinal vermelho sempre segue o amarelo, etc.

b) Expectativas de curto prazo

Adquiridas durante uma viagem. Por exemplo, um motorista que está trafegando por vários quilômetros em uma rodovia rural preferencial pode ser surpreendido pela presença de um sinal de parada obrigatória, se não constatar nenhuma mudança nas condições da rodovia.

Portanto, descontinuidades devem ser evitadas ao longo de uma rota. Devem estar relacionadas a mudanças de:

- Características da geometria: alinhamento (primeira curva fechada ou subida forte), rodovia de duas pistas/de uma pista, largura de faixa ou de acostamento, redução de uma faixa, características da superfície, condições laterais, condições de iluminação, etc.;

- Características da sinalização e marcas;
- Condições do tráfego (volumes, tipos de usuários, manobras);
- Uso da terra;
- Trechos em obras.

c) Expectativas provocadas por eventos inesperados

Os motoristas esperam que não ocorra o que nunca aconteceu. Por exemplo, um motorista que regularmente passa por uma travessia ferroviária sem ver um trem espera que nunca haja um trem naquele local.

Figura A.35 - Exemplos de violações das expectativas dos motoristas

Sinais de tráfego inesperados em uma via arterial (marcas de pneus mostram que alguns dos motoristas não esperavam ter que parar).

Interseção em T inesperada ao fundo de um morro (marcas de pneus).

Inesperada mudança no linhamento. A rodovia principal parece surgir em frente.

Sinal não usual de travessia e de parada obrigatória. Exige sinais prévios de advertência.

Sinal de parada obstruído por um carro estacionado.

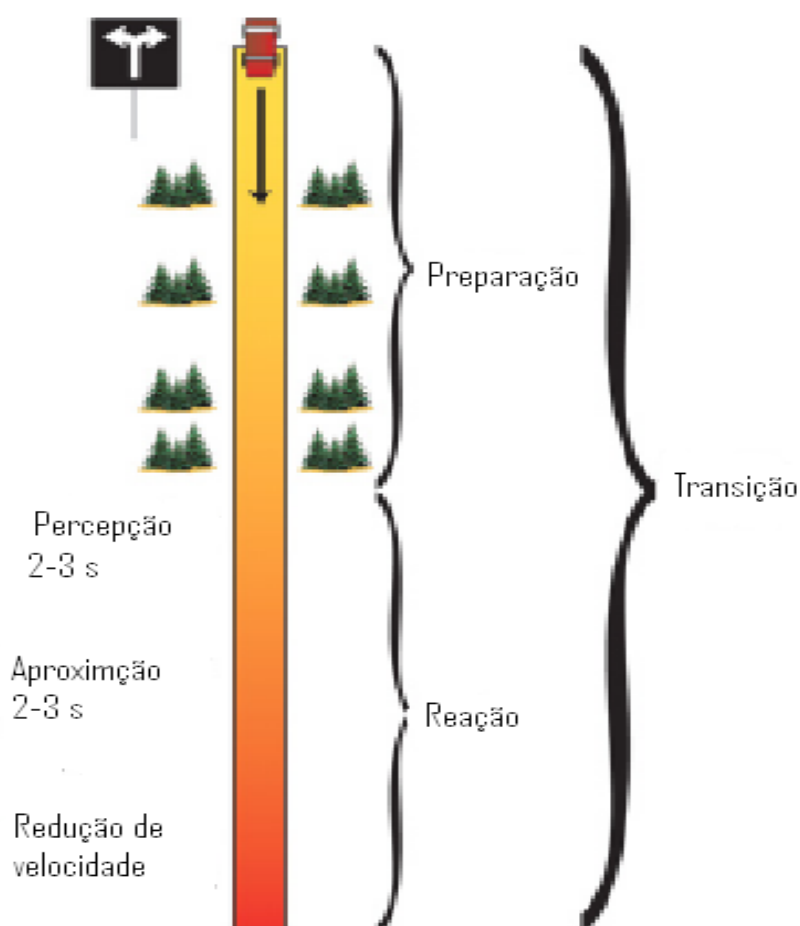
Combinação inadequada de alinhamentos horizontal e vertical. Os motoristas não vêem a curva horizontal.

A.4.3.3 Trechos de transição

Os projetistas devem prover transição adequada para que os motoristas tenham tempo suficiente para se adaptar às modificações da via (Figura A.36).

Devem ser verificadas as condições de:

- Curvas horizontais;
- Transições entre áreas rurais e urbanas;
- Interseções;
- Mudanças nas funções da rodovia;
- Mudanças de velocidade.

Figura A.36 - Área de transição

a) Curvas horizontais

Na Figura A.37 a rodovia principal tem uma interseção em curva. A rodovia secundária que segue no prolongamento da rodovia principal pode levar alguns motoristas a pensar que ela tem preferência. Nesse caso, o ideal é tirar a atenção da via secundária com a adoção de talude lateral e árvores de altura média.

Figura A.37- Má transição na interseção

Interseção em curva (antes)

Interseção em curva (depois)

Na Figura A.38 a sinalização vertical não está coerente com a situação da interseção na curva que se segue. A mudança de sinal indicada esclarece aos motoristas a situação real da interseção na curva.

Figura A.38 - Má transição de uma curva horizontal

O sinal não é coerente com o alinhamento. Uma parada de ônibus está na curva.

O sinal foi modificado. A parada de ônibus foi retirada da curva.

b) Transição de via rural para via urbana

Numa transição entre uma via rural e uma via urbana os motoristas devem ser providos de informação suficiente para que possam reduzir sua velocidade a um nível que permita operação segura do tráfego. Algumas medidas podem ser tomadas para contribuir para a redução das velocidades (Figuras A.39 e A.40): deslocamentos horizontais (chicanes), redução de largura (ilha central, marcas, material de superfície diferente), vegetação e deslocamentos verticais (lombadas, quebra-molas).

Figura A.39 – Zona de transição

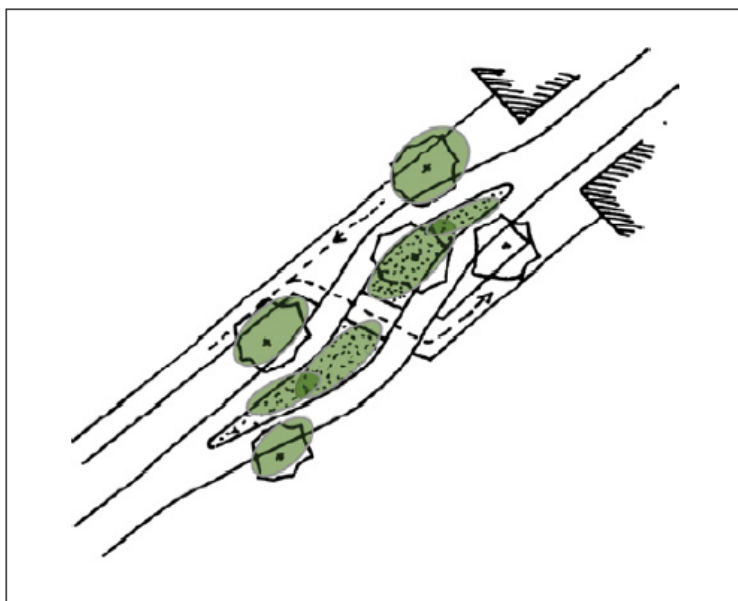



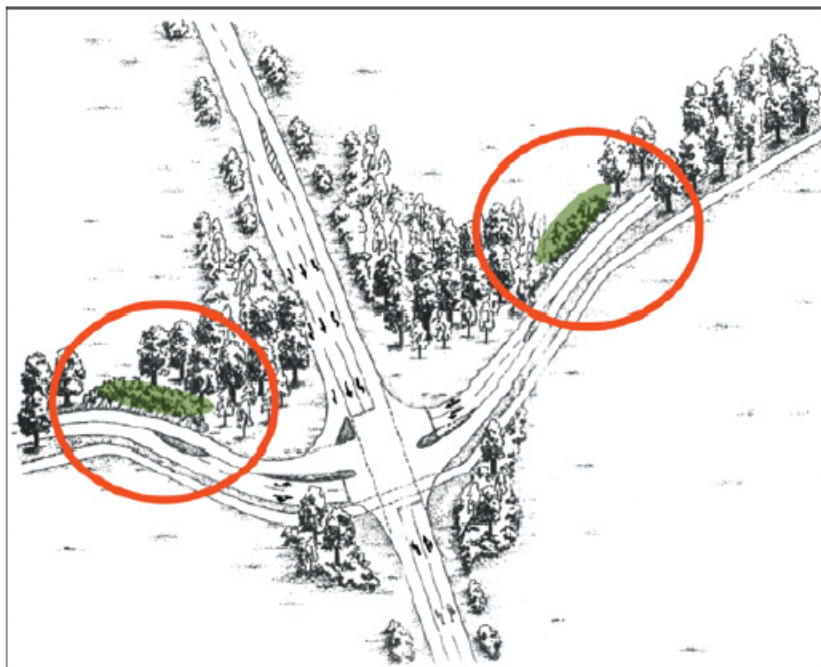
Figura A.40– Boas transições entre áreas rural e urbana

c) Interseções

No caso da Figura A.41, uma nova interseção foi criada em uma rodovia existente depois que uma nova rodovia foi aberta. A preferência é da nova rodovia. Para informar a presença da nova interseção aos motoristas trafegando na rodovia anterior foram incluídos os seguintes elementos no projeto:

- Curvas horizontais foram criadas em ambos os lados da interseção para quebrar a continuidade. Essas curvas estão suficientemente afastadas da interseção, para permitir a travessia da nova rodovia em ângulo reto;

- Foram acrescentadas novas plantas ao longo dessas curvas para cobrir a vegetação da rodovia existente, de modo a evitar confusão com o alinhamento da rodovia e a avisar os motoristas da presença dessas curvas.

Figura A.41 – Transição adequada na aproximação de uma interseção

A.5. INTERSEÇÕES

A.5.1 ESCOLHA DO TIPO DE INTERSEÇÃO

A.5.1.1 Tipos de Interseções em vias urbanas

a) Vias arteriais

- rotatórias;
- interseções semaforizadas

b) Vias coletoras

- rotatórias;
- interseções semaforizadas;
- interseções com sinalização específica da via preferencial;
- interseções com prioridade ao tráfego que vem pela direita

c) Ruas locais e residenciais

- rotatórias;

– interseções com prioridade ao tráfego que vem pela direita.

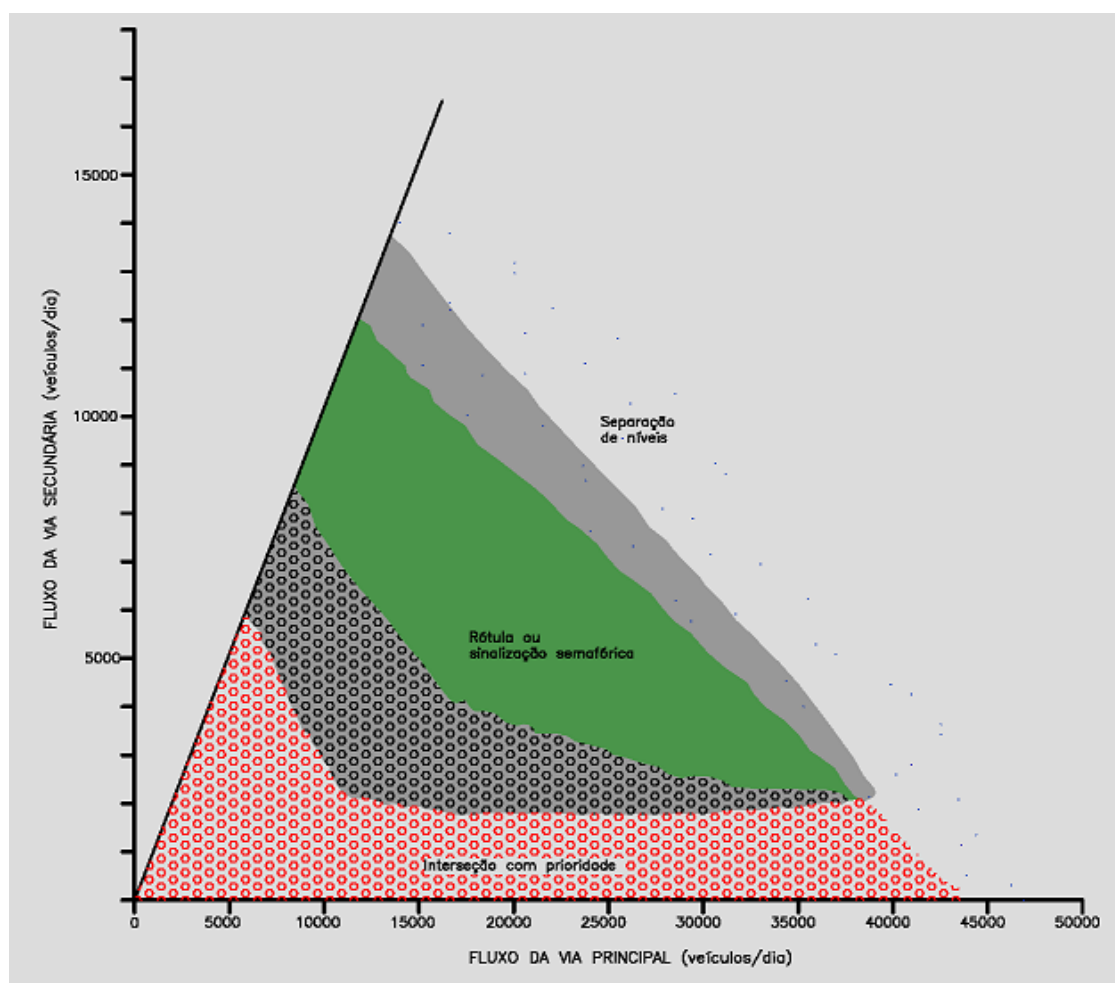
A.5.1.2 Seleção do tipo de interseção em função da capacidade

Estudos ingleses fornecem as capacidades dos diversos tipos de interseções conforme mostra a Tabela A.15. A Figura A.42 indica as áreas de aplicação dos diferentes tipos de interseções.

Tabela A15 - Capacidade baseada no tipo de interseção

Tipo de interseção	Capacidade
Prioridade do que vem pela direita	1000 – 1500
Prioridade – prefixada	5000 – 12000
Rotatória com uma faixa de tráfego	20000 – 28000
Rotatória com mais de uma faixa	35000 – ?[a]
Interseção semaforizada	20000 – 80000[b]

a) Variável entre países
b) Depende da distribuição de faixas

Figura A.42 - Tipo de interseção com base nos fluxos de tráfego

A.5.1.3 Seleção do tipo de interseção em função dos seus custos

Os custos de aquisição da faixa de domínio e da construção de rotatórias são relativamente baixos, o que lhes dá vantagem sobre outros tipos de interseção. Sua operação e manutenção apresentam custos inferiores aos de interseções semaforizadas.

Em rotatórias existentes é geralmente possível adicionar uma nova pista de acesso se as distâncias aos acessos vizinhos são suficientes para atender à segurança.

A.5.2 SEGURANÇA NAS INTERSEÇÕES

A.5.2.1 Prioridade ao tráfego que vem pela direita versus sinalização de prioridade

A experiência com a substituição da prioridade ao tráfego que vem pela direita por prioridade estabelecida por sinais específicos tem resultado em aumento do número de acidentes para o caso de volumes elevados de tráfego, especialmente se a rodovia for estreita ou está atravessando pequenas localidades (*Service d'études techniques des routes et autoroutes/Centre d'études des transports urbains,* 1992).

A.5.2.2 Prioridades versus sinalização semafórica

Estudos conduzidos na França concluíram que há menos acidentes em interseções semaforizadas que em interseções semelhantes controladas por prioridades (a maioria das interseções pesquisada era de quatro ramos).

Entretanto, Frith and Harte (1996) oferecem informações mais cautelosas:

- A transformação de interseções com três ramos com sinais fixos de prioridade por sinalização com semáforos não melhora de forma significativa a segurança;
- A transformação de interseções com quatro ramos com sinais fixos de prioridade por sinalização com semáforos reduz de forma significativa o número de acidentes e sua severidade;
- A transformação de interseções com quatro ramos com prioridade ao tráfego que vem pela direita por sinalização com semáforos reduz de forma significativa o número de acidentes, mas não a sua severidade;

Parece que essas diferenças são devidas a variações de configuração entre interseções de três e quatro acessos, e a diferenças em velocidades entre a sinalização com preferência ao tráfego que vem pela direita e a com preferência fixada por sinais. Ocorreram, também, variações em volumes de tráfego: as maiores melhorias corresponderam a vias secundárias com tráfego relativamente alto.

A.5.2.3 Rótulas versus outros tipos

Um estudo inglês mostrou que, em uma interseção, sendo semelhantes os volumes de tráfego, há menor número de acidentes, e menos graves, em rótulas do que em interseções semaforizadas. Pesquisa feita por Brillon & Stuwe (1991) confirma essa tendência em rotatórias de tamanho médio (menos de 40 m), baseado em um índice diferente (razão do número de acidentes sobre o tráfego total). Em rotatórias antigas (grande diâmetro), o número de acidentes parece maior que para interseções semaforizadas, embora sejam menos graves.

Veículos de duas rodas (especialmente bicicletas) são sujeitos a risco de acidentes similar em rotatórias e interseções semaforizadas; o risco é maior nas entradas das rotatórias quando a velocidade é relativamente alta.

Acredita-se que a adoção de semáforos reduz o número de colisões transversais e aumenta o risco de colisões traseiras. Este fato recomenda não usar essa solução, a não ser que os volumes de tráfego nos acessos de menor importância e os volumes de pedestres sejam elevados (em tais casos a redução das colisões transversais deve mais que compensar o aumento das colisões traseiras menos graves).

Portanto, por razões de segurança, parece adequado transformar interseções de grande volume (especialmente em vias secundárias) em rotatórias ou ao menos sinalizá-las com semáforos. Pelas mesmas razões, rotatórias devem ser adotadas nas principais interseções das áreas residenciais. Para interseções de menor importância, pode ser permitida a prioridade dos carros que vêm pela direita, uma vez que ela tende a aumentar a atenção dos motoristas e reduzir as velocidades (comparadas com as interseções com prioridades determinadas por sinais fixos).

Uma vez que os acessos não são muito afastados, os motoristas desejando entrar em uma mini-rótula devem estar bem atentos aos veículos que percorrem a pista giratória e preparados para atuar rapidamente quando percebem um intervalo adequado do tráfego. Nessas condições há pouca probabilidade de perceber os ciclistas. Se o seu número for elevado, uma interseção semaforizada provavelmente será mais segura.

A.5.2.4 Interseções de quatro ramos

Por razões de segurança, interseções de quatro ramos somente devem ser permitidas em rodovias de volumes baixos ou onde a maior parte do tráfego proveniente da rodovia secundária gira à direita, sem atravessar, portanto, a rodovia principal. Há uma tendência a substituí-las por duas interseções de tipo T separadas, tendo-se obtido reduções de até 70% nos índices de acidentes na Inglaterra.

Prioridade fixa em interseções de quatro ramos deve ser evitada em rodovias rurais de duas pistas, uma vez que veículos sem prioridade devem atravessar uma largura elevada. O risco de acidentes em tais travessias é:

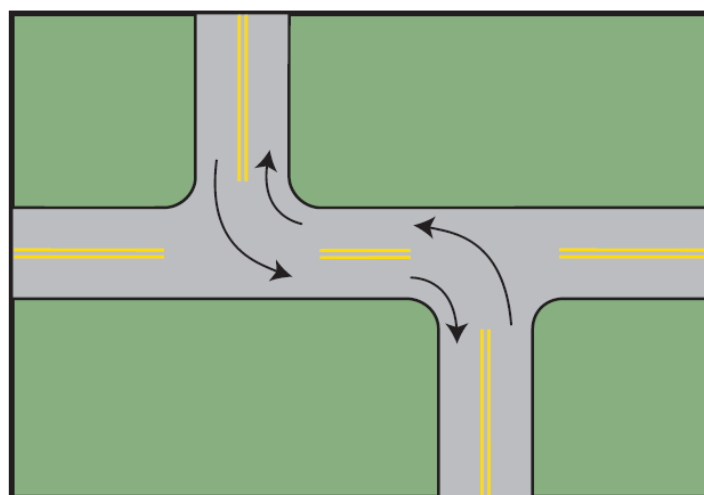
- 1,5 vezes o de atravessar uma rodovia de uma pista (duas vezes se se considerar apenas acidentes fatais);
- 10 vezes o risco em trafegar 1 km em uma rodovia de uma pista, longe de interseções;
- 30 vezes o risco de atravessar uma giratória.

A.5.2.5 Interseções rurais de quatro ramos versus duas interseções em T

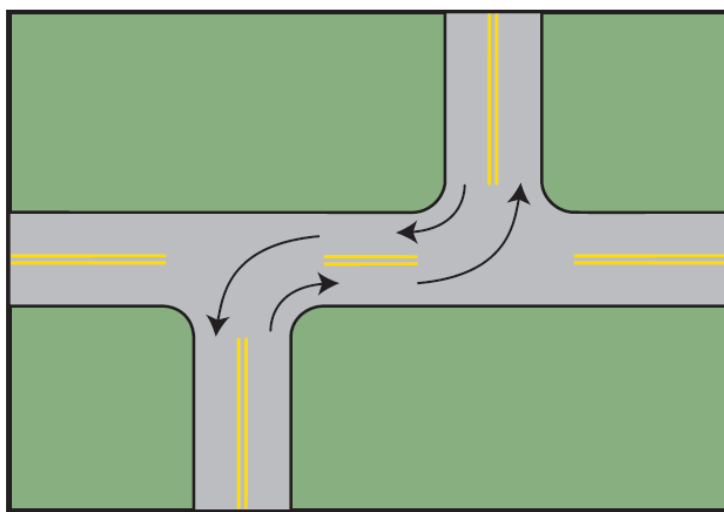
Conforme exposto a seguir, existe uma nítida vantagem em termos de segurança na substituição de uma interseção rural de quatro ramos por duas interseções tipo T. Com efeito, dois tipos de soluções são possíveis:

a) Primeira solução: O veículo proveniente da via secundária que deseja prosseguir pelo trecho seguinte da rodovia secundária efetua um giro à esquerda ao entrar na rodovia principal:

- Os veículos que chegam à rodovia principal têm que olhar para ambos os lados da rodovia e aguardar um intervalo adequado;
- Uma vez estando na rodovia principal, só efetuará giros à direita, reduzindo assim sua interferência com o tráfego de passagem.

Figura A.43 – Interseções rurais de quatro ramos versus duas interseções em T – 1ª solução

b) Segunda solução: O veículo proveniente da via secundária que deseja prosseguir pelo trecho seguinte da rodovia secundária,efetua um giro à direita ao entrar na rodovia principal:

- Os veículos que chegam à rodovia principal têm que olhar para apenas um lado da rodovia e aguardar um intervalo adequado;
- Uma vez estando na rodovia principal, só efetuará giros à esquerda, normalmente através de uma faixa central para giros à esquerda.

Figura A.44 – Interseções rurais de quatro ramos versus duas interseções em T – 2ª solução

O deslocamento mínimo deve ser de 50 m se efetuado primeiro o giro à esquerda e de 100 m caso contrário.

A.5.2.6 Interseções sinalizadas por semáforos

a) Atropelamento de pedestres

Entre 60% e 70% dos acidentes com feridos envolvem pedestres em interseções semaforizadas, e cerca de 90% dos casos fatais nas mesmas circunstâncias envolvem um veículo trafegando em uma via de tráfego direto e um pedestre tentando atravessar a via. O veículo geralmente está situado na entrada da interseção, e não na saída, e o pedestre está começando a atravessar. Em 80% dos casos os pedestres têm sinal vermelho. Com menor frequência o sinal é verde para o veículo e amarelo para o pedestre ou vice-versa.

Atropelamentos de pessoas mais velhas têm que ser especialmente considerados. Sua frequência é menor que a proporção dos mais velhos na população, mas o número de casos fatais é maior. A maioria desses atropelamentos ocorre:

- Durante o dia;

- Quando começando a atravessar, com veículos girando à esquerda, saindo da interseção, ou girando à direita no sinal amarelo;
- Com veículos formando fila.

Os seguintes fatores aumentam o risco de atropelamento:

- Um grande número de faixas entrando na interseção. Quatro faixas ao invés de uma multiplica o risco por 2,5;
- Distância de visibilidade reduzida quando entrando na interseção;
- Sinais semafóricos pertencendo a um sistema de coordenação que melhora o nível de serviço dos veículos trafegando nas vias preferenciais. O aumento dos acidentes é devido ao fato de que os pedestres têm que esperar mais tempo e acabam atravessando com o sinal vermelho;
- Sinais acionados pelos pedestres (com botoeiras): Frequentemente operam com aumento do tempo de espera. Se o fluxo de tráfego for pequeno, os pedestres atravessam no vermelho, o que é perigoso porque os veículos estão trafegando com velocidades altas;
- Uma distância grande entre a travessia de pedestres e a interseção;
- Manutenção inadequada da sinalização;
- Possibilidade da ocorrência de veículos girando à direita com sinal amarelo intermitente, especialmente se os volumes de pedestres são elevados e as velocidades são baixas.

b) Acidentes em giros à esquerda

Os principais problemas de segurança relacionados com manobras de giros à esquerda são:

- Dificuldades dos que giram à esquerda em efetuar um posicionamento adequado na travessia;
- Dificuldades de armazenamento;
- Má percepção dos veículos que vêm em sentido oposto, especialmente ciclistas;
- Má estimativa do tempo que falta para chegar o veículo que vem no sentido oposto;
- Velocidade elevada do veículo que percorre a rodovia.

O aumento da fase de vermelho para todo o tráfego aumenta o risco de acidentes para os giros à esquerda, devido a aumentar o número de veículos que giram no vermelho. A fase de vermelho para todos (incluindo o amarelo) deve permitir a limpeza total da interseção antes da ocorrência de um sinal verde: a redução da fase de sinal vermelho para todos inclui o aumento da fase de amarelo. Isso é perigoso porque alguns veículos tentarão acelerar no amarelo ao invés de frear, como é devido.

c) Colisões em ângulo reto

Este tipo de acidente é muito severo. Pode resultar de defeito de programação de sinais. Na maioria das vezes ocorre quando um veículo quer ultrapassar quando o tempo de verde está se acabando, e não quando tenta se adiantar à chegada do verde, utilizando o fim do vermelho.

Problemas que contribuem para a ocorrência deste tipo de acidente são:

- Má percepção da presença dos sinais devido à velocidade, à influência de distrações provocadas pela área que está atravessando ou excesso de iluminação lateral que prejudique a visão dos sinais;
- Velocidade excessiva;
- A impressão de que ainda dá tempo de passar no amarelo;
- Medo de ser atingido por trás;
- Pouco respeito pela operação da via exercida pela sinalização, principalmente por motoristas com raciocínio mais lento. O projeto da interseção e do seu controle por semáforos podem contribuir para esses acidentes;
- Excessiva largura da faixa na aproximação da interseção;
- Ciclos curtos; se o tempo do ciclo é reduzido de 120 s para 30 s, a frequência de acidentes é multiplicada por 2 e os acidentes por batidas em ângulo reto são multiplicados por 4. O projeto da interseção e do seu ciclo de sinalização também pode contribuir para a redução dos acidentes;
- Projetos que encorajem velocidades moderadas, como pequenas deflexões de passagens diretas por meio de pequenos deslocamentos dos acessos opostos;
- Inclusão de uma ilha central para refúgio;
- Redução das fases de vermelho total a um mínimo. Os sinais das vias transversais não devem ser visíveis, de modo que não transmitam informações que possam encorajar os motoristas a utilizar as margens de segurança incluídas na fase de vermelho total.

A.5.2.7 Rótulas

A segurança nas rótulas depende em muitos aspectos de seu projeto não apresentar incompatibilidades. Cuidado deve ser tomado em possibilitar que os veículos possam trocar de acesso com segurança e pouca perda de tempo. Esse compromisso é prejudicado por volume

excessivo de tráfego ou velocidades muito elevadas, e também por falta de espaço para manobra. Este último problema é o fator determinante em áreas urbanas.

O risco nas rotatórias é relativamente pequeno: acidentes com feridos são menos frequentes que em outros tipos de interseções quando o volume de tráfego na rodovia secundária excede:

- 5% do tráfego da rodovia principal, para interseções de quatro ramos;
- 10%, para interseções tipo T.

Os acidentes fatais são em menor número que em outros tipos de interseções, mesmo para volumes de tráfego menores, porque os acidentes são menos graves.

Embora as rótulas apresentem bom histórico em termos de segurança deve ser dada atenção especial ao seu projeto:

- O fator mais importante é a curvatura da trajetória dos veículos que acessam a rótula;
- Ilhas centrais muito grandes (maiores que 30 m de diâmetro) são menos seguras;
- Pedestres e ciclistas podem criar problemas especiais.

Figura A.45 - Rótulas

a) Áreas rurais e suburbanas

O principal tipo de acidente é a perda de controle do veículo na entrada da rótula, indo de encontro à ilha central (cerca de 40% de acidentes com feridos e quase todos que incluem mortos). A perda de controle é devida frequentemente à surpresa de viajantes que conheciam a interseção antes de sua transformação em uma rotatória. Em acidentes fatais há geralmente uma desaceleração súbita na ilha central.

Outros tipos de acidentes que ocorrem em rótulas rurais e suburbanas incluem:

- Colisões entre veículos entrando na rótula e outros que a estão percorrendo. Esse tipo de acidente pode aumentar se o acesso à rótula for suavizado no trecho de concordância;
- Perda de controle no anel da rotatória, principalmente se tiver forma eclíptica.

b) Áreas urbanas

O principal tipo de acidente é o que envolve um veículo entrando na rótula e um que a está percorrendo: cerca de 40%, especialmente entre ciclistas/motociclistas e veículos pesados. Outros tipos de acidentes incluem:

- Perda de controle na entrada (cerca de 30%), especialmente para motociclistas;
- Perda de controle dentro da pista rotatória, principalmente para bicicletas motorizadas de baixa potência;
- Atropelamento de pedestres. Quase a terça parte dos que tentam atravessar uma entrada; alguns outros quando atravessando uma saída larga e de maior velocidade. Um outro terço envolve os que tentam atravessar a pista rotatória em uma rótula de dimensões muito grande.

A.5.3 DISTÂNCIA ENTRE INTERSEÇÕES

Deve ser procurado um compromisso entre as necessidades de cada interseção e a operação coerente do conjunto das vias do sistema que as contém. A localização de uma interseção geralmente é função do uso do solo, naturalmente ou como resultado de planejamento. O aumento do uso do solo não só produz mais tráfego como exerce pressão por maior número de interseções.

A distância entre interseções tem um grande efeito, tanto no nível de serviço como na segurança de uma rodovia:

- A distância deve ser maior em rodovias, de modo a garantir maior mobilidade;
- Uma distância muito pequena (menor que 450 m) entre interseções mal projetadas pode levar a um aumento do índice de acidentes.

Em áreas urbanas e suburbanas frequentemente é impossível manter distâncias ideais entre interseções, especialmente se for muito desenvolvido o uso da área. Em vias arteriais, uma onda verde em ambos os sentidos pode ser conseguida com sincronização de sinais. A operação melhora se:

- A distância entre interseções é uniforme e acima de 200 m;
- A via arterial é de sentido único;

- Alguns giros à esquerda são proibidos.

A distância mínima entre interseções deve ser:

- 60 m em uma rua coletora e para interseções de quatro ramos em vias locais;
- 40 m para interseções de três acessos em ruas locais.

A.5.4 ALINHAMENTO DA RODOVIA

A.5.4.1 Alinhamento horizontal

A localização ideal para uma interseção é em tangente. Em curvas são criados problemas:

- A visibilidade é reduzida;
- Parte da força de atrito é consumida para manter o veículo na curva, sobrando menos para frear;
- Há um potencial maior de conflito entre veículos tentando atravessar a rodovia principal;
- A superelevação e a superlargura complicam ainda mais a situação.

Rótulas não devem ser colocadas em curvas porque podem criar problemas de visibilidade e de orientação. Muitas vezes pode-se eliminar uma curva com a implantação de uma rotatória; as tangentes são mantidas e a mudança de direção é feita dentro da rotatória.

A.5.4.2 Alinhamento vertical

Desejavelmente, uma interseção não deve apresentar greides superiores a 3% e nunca acima de 6%, para:

- Favorecer a visibilidade;
- Aumentar o conforto dos passageiros quando o veículo tiver que parar na interseção;
- Permitir que os motoristas avaliem corretamente as necessidades de mudança de velocidade.

Interseções, preferivelmente, não devem ser localizadas em curvas verticais convexas ou próximas a elas.

Tanto nas aproximações como na interseção não deve haver grandes variações de greide. Como orientação pode-se adotar:

- Para velocidades maiores que 70 km/h, a diferença de greides entre as extremidades de uma curva vertical não deve exceder 2% ;
- Para uma velocidade de 50 km/h a diferença pode atingir 4%, se a visibilidade for suficiente. Perde-se algum conforto, mas a segurança não é prejudicada;

- Para uma velocidade de 30 km/h a diferença pode chegar até 6%.

Curvas verticais devem ter comprimento, pelo menos, de 20 m. Esse comprimento pode ser menor (até 10 m ou 5m) em vias de características geométricas mais restritas e que acomode muito pouco tráfego.

A.5.5 USUÁRIOS ESPECIAIS

A.5.5.1 Veículos pesados

Raios pequenos nas interseções aumentam as necessidades de largura para os veículos pesados e pequenas faixas de desaceleração podem aumentar o número de acidentes envolvendo veículos pesados – principalmente no caso de reboques e semi-reboques. Nas rótulas, esses acidentes raramente são fatais, mas o derrame de cargas pode provocar longos congestionamentos. A experiência mostra que nesses casos uma ou mais das seguintes circunstâncias estão presentes:

- Deflexão muito pequena para entrada na interseção, o que pode levar a velocidades elevadas;
- Trechos longos em tangente nas rotatórias, seguidos de curvas com raios pequenos;
- Curvas de ângulos centrais elevados e raios pequenos nas saídas da rotatória;
- Mudanças acentuadas de superelevação.

A.5.5.2 Pedestres

Em áreas urbanas e suburbanas as passagens de pedestres devem ser tão curtas quanto possível.

A provisão de passagens de pedestres nas travessias, devidamente delineadas por pinturas em zebra, tende a reduzir os atropelamentos. Sua presença tem as seguintes vantagens:

- Avisar os motoristas da possibilidade de conflitos com pedestres (de forma limitada);
- Mostrar aos pedestres os locais mais seguros para atravessar;
- Confinar as travessias de pedestres a certos pontos predeterminados. Pode ainda ser complementado com barreiras canalizadoras que impeçam travessias em outros lugares (desde que essas barreiras não prejudiquem a visibilidade dos motoristas e não aumentem em excesso os comprimentos dos percursos dos pedestres).

Medidas complementares podem ser tomadas, como:

- Estreitamento limitado da via na travessia de pedestres, alargando os passeios laterais, e em vários casos complementado com uma faixa de estacionamento;
- Ilha central de refúgio, que permite a travessia em duas etapas;

- Pavimento contrastante, com diferente textura ou cor.

Alguns outros fatores que podem contribuir para a redução de acidentes são:

- Proximidade da interseção (as reduções podem ser significativas se a distância entre a travessia e a linha de meio-fio da rua transversal for menor que 2 m);
- Grande volume de pedestres atravessando (o que aumenta a sua importância para os motoristas);
- Controle de estacionamento perto da travessia (para aumentar sua visibilidade);

Há opiniões conflitantes quanto aos efeitos da substituição por semáforos em interseções com sinais de "Parada Obrigatória" ou "Ceda a Vez":

- O risco em travessias de pedestres controladas por semáforos parece ser maior que nas demais (embora o risco seja menor que nos locais onde não há semáforos nem uma travessia própria para pedestres ou onde os pedestres atravessam a pista longe de uma interseção);
- Se o volume de veículos é pequeno, haverá provavelmente uma alta frequência de pedestres atravessando no vermelho, principalmente se eles têm que acionar o sistema e aguardar o sinal verde;
- Semáforos têm menor influência se a velocidade média dos veículos da via principal for menor que 30 km/h ou se os volumes de giro são altos.

Pedestres com problemas de locomoção precisam de medidas especiais, a saber:

- Uma interrupção no meio-fio para cadeiras de rodas, sem degraus com mais de 10 mm nem inclinações maiores que 1/12;
- Pavimento com textura reconhecível por cegos. A divisa com a via deve ser marcada por um degrau de 10 mm.

Em rotatórias:

- A travessia da ilha central deve ser evitada a qualquer custo;
- Preferivelmente, as passagens de pedestres devem ser segregadas, separadas da linha limitadora da pista rotatória por pelo menos 10 m, de modo que se possa ter uma largura mais estreita para atravessar. É desejável que haja refúgios nas ilhas divisórias;
- Em alguns casos devem ser consideradas passagens superiores ou inferiores.

A.5.5.3 Coletivos

Paradas de ônibus tendem a ser localizadas perto das interseções, de modo que seus usuários tenham acesso mais fácil a um grande número de destinos. Paradas localizadas após uma interseção facilitam a reentrada no tráfego normal.

Nas rotatórias as paradas podem ser localizadas fora da via, antes da entrada ou depois da saída (aqui a velocidade é maior).

A.5.5.4 Ciclistas e motociclistas em rotatórias

Representam, principalmente os ciclistas, cerca de 50% dos acidentes com feridos nas rotatórias, muito mais que os carros. Seus condutores procuram aumentar os raios de suas trajetórias e seus campos de visão podem ser prejudicados pelos seus capacetes.

Onde se espera um grande número de ciclistas, as seguintes medidas devem ser consideradas:

- Rotas alternativas fora das rotatórias;
- Rotas separadas para os pedestres e ciclistas;
- Um diferente tipo de interseção (por exemplo semaforizada).

A.5.6 DISTÂNCIAS DE VISIBILIDADE

A.5.6.1 Distância de visibilidade de parada nas aproximações

A distância de visibilidade ao se aproximar de uma interseção deve ser suficiente para permitir que um motorista trafegando com velocidade diretriz possa parar com segurança antes de atingir um objeto em sua trajetória. A Tabela A.16 mostra as distâncias de visibilidade de parada recomendadas em diversos países.

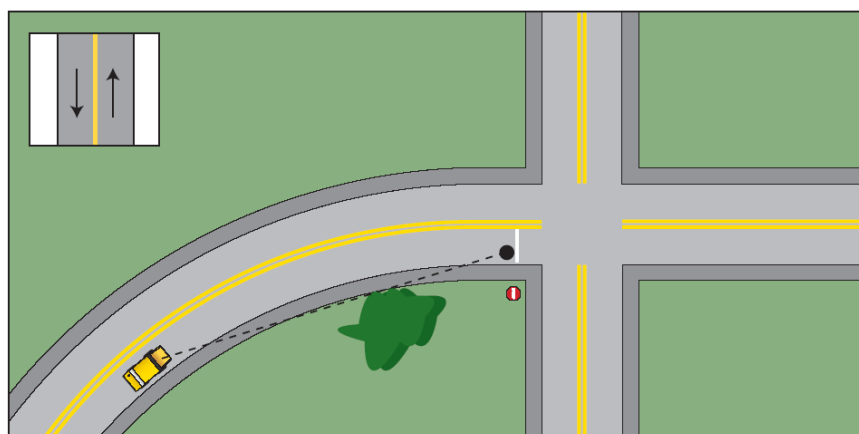
Tabela A.16 - Distâncias de visibilidade de parada recomendadas

Tempo de reação		**Velocidade (km/h)**											
País	(s)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
		Distância de visibilidade de parada (m)											
Canadá	2,5	-	45	65	85	110	140	170	210	250	290	330	-
França	2,0	25	35	50	65	85	105	130	160	-	-	-	-
Alemanha	2,0	-	-	65	85	110	140	170	210	255	-	-	-
Inglaterra	2,0	-	-	70	90	120	-	-	215	-	295	-	-
Suecia	2,0	35	-	70	-	165	-	-	-	195	-	-	-
Suiça	2,0	35	-	50	70	95	120	150	195	230	280	-	-
USA	2,5	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250	285	-

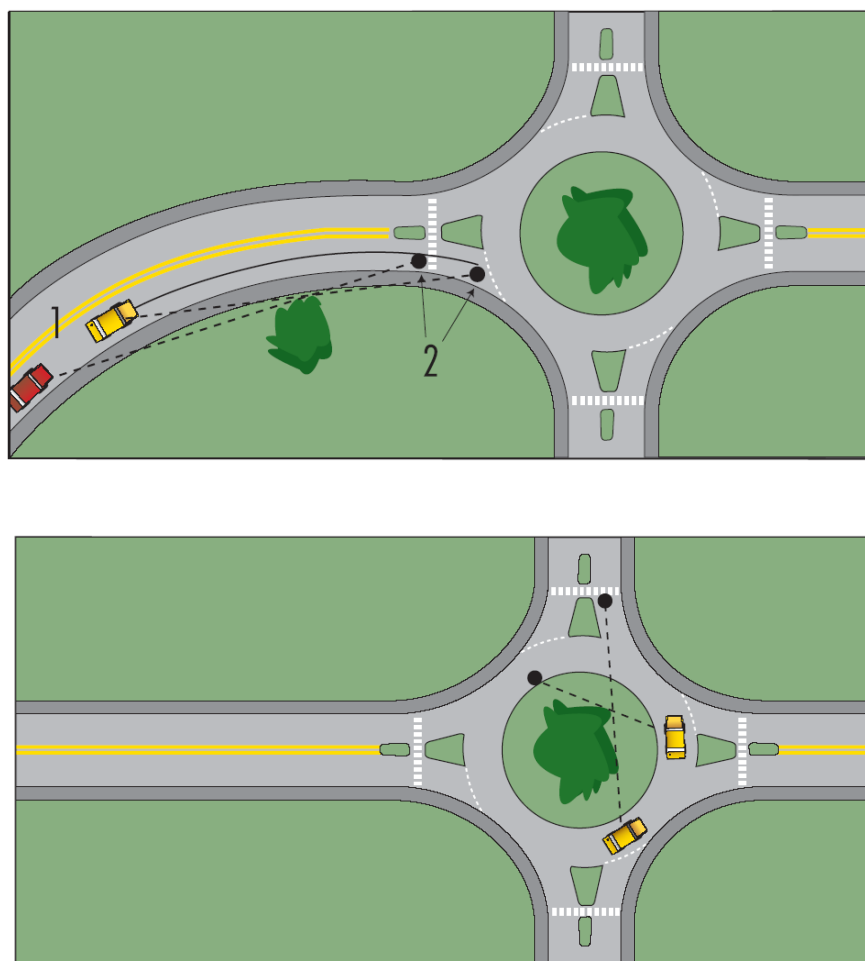
Adaptado de Harwood et al.,1995

Aproximação de uma interseção convencional

Em uma interseção convencional a distância de visibilidade deve ser verificada em cada aproximação.

Figura A.46 – Aproximação de uma interseção convencional

Aproximação de uma rótula moderna

Em uma rótula moderna a distância de visibilidade deve ser verificada em cada ramo de aproximação, nos acessos às travessias de pedestres e à pista giratória, bem como nas travessias de pedestres, por veículos procedentes da pista giratória.

Figura A.47 - Aproximação de uma rótula moderna

A.5.6.2 Distância de visibilidade para manobras

Um motorista que está parado em uma interseção deve ter distância de visibilidade suficiente para completar com segurança todas as manobras permitidas, mas não prioritárias (Figura A.48):

- giro à esquerda, travessia e giro à direita, a partir da rodovia secundária;
- giro à esquerda, a partir da rodovia prioritária.

Foram desenvolvidos vários métodos para calcular as distâncias de visibilidade necessárias para essas manobras. Uma equação simples calcula essa distância com base na velocidade dos veículos na rodovia principal e no intervalo de tempo necessário entre eles, para que sejam completadas essas manobras não prioritárias. Esse intervalo pode variar de um país para outro, como indicado na Tabela A.17.

$$D = \frac{V_{85} \times t}{3{,}6}$$

onde:

D = distância de visibilidade (m)

V_{85} = velocidade abaixo da qual 85% dos veículos trafegam na rodovia principal

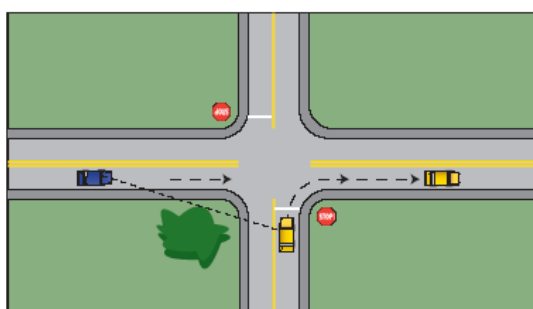
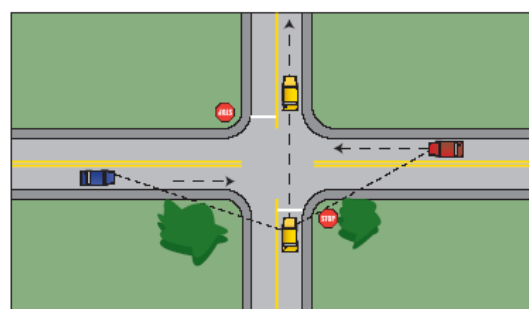
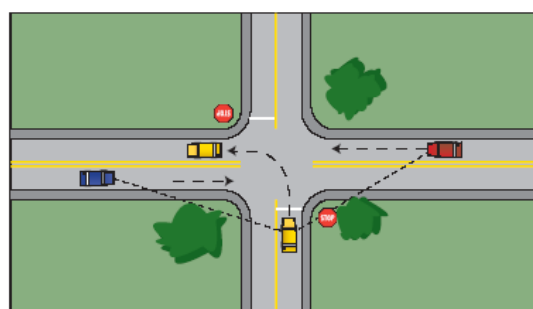
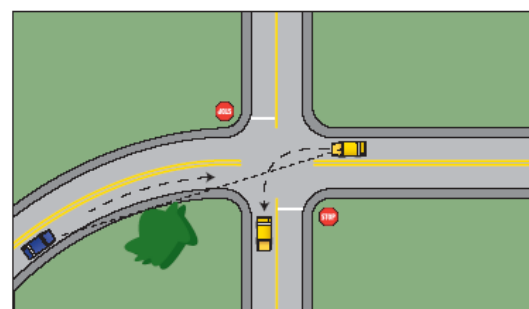
t = intervalo de tempo necessário para manobra (s)

Tabela A.17 - Intervalos de tempo necessários para manobra

FRANÇA	INGLATERRA	ESPANHA	USA
6 – 8 s	5 – 8 s	6 – 8 s	6,5 – 7,5 s

Veículos Pesados

Quando os volumes de veículos pesados é grande, pode ser necessário aumentar os intervalos de tempo para manobras para levar em conta as características desses veículos (menores taxas de aceleração e desaceleração e comprimentos maiores). As distâncias de visibilidade necessárias podem aumentar de forma considerável.

Figura A.48 - Distâncias de visibilidade para manobras

Giro à direita a partir da rodovia secundária

Travessia a partir da rodovia secundária

Giro à esquerda a partir da rodovia secundária

Giro à esquerda a partir da rodovia principal

A.5.6.3 Triângulos de visibilidade

Em todas as aproximações das interseções a distância de visibilidade deve ser suficiente para permitir que os motoristas vejam os veículos que se aproximam pelas vias adjacentes e com que podem entrar em conflito. As áreas laterais nessas interseções devem ser permanentemente livres de obstruções à visibilidade. Em uma interseção convencional a área livre forma um "triângulo de visibilidade".

As dimensões desse triângulo variam de acordo com:

- Tipo de interseção (convencional ou rotatória);
- Tipo de controle de tráfego (nenhum ou ceda a vez);
- Velocidade de aproximação dos veículos;
- Valores admitidos relativos aos motoristas (tempo de reação, taxa de desaceleração).

a) Interseções convencionais

Em interseções convencionais sem controle, as dimensões do triângulo de visibilidade correspondente ao veículo 1 são definidas pelos comprimentos D1,D2 e D1,D3, como indicado na Figura A.49. Na Espanha esses comprimentos devem ser, pelo menos, iguais à distância percorrida em 3 segundos, com a velocidade V_{85} dos veículos em consideração.

b) Rotatórias

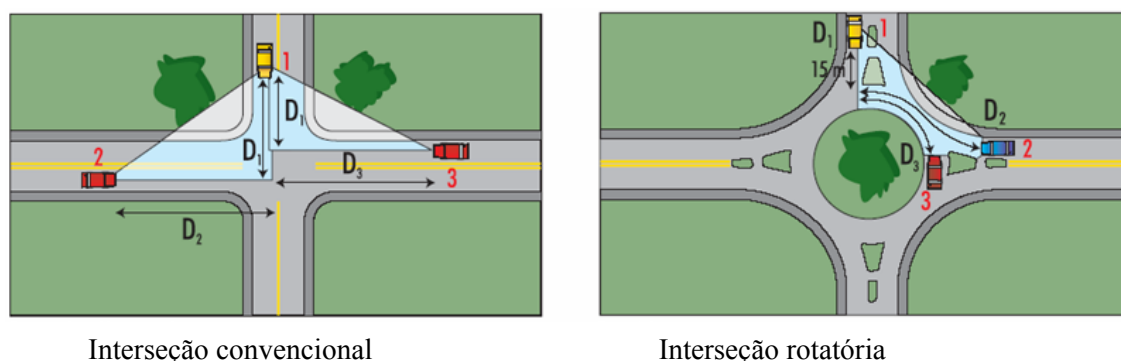
Nas rotatórias, as dimensões dos pseudo-triângulos de visibilidade são determinadas pelas distâncias indicadas na Figura A.49, a saber:

D1: distância no ramo considerado; 15 m é geralmente recomendada, para evitar velocidades de aproximação excessivas;

D2: distância requerida entre o veículo 1 e o veículo 2 que se aproxima pelo ramo a montante;

D3: distância requerida entre o veículo 1 e o veículo 3 que se aproxima pela pista rotatória.

As distâncias recomendadas para interseções convencionais podem ser obtidas no manual *A Policy on Geometric Design* of *Higways and Streets* – 2004, e para rotatórias na publicação do *Federal Highway Administration* – 2000.

Figura A.49 - Triângulos de visibilidade

Interseção convencional

Interseção rotatória

A.5.7 COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES VIÁVEIS

Na fase de projeto, tanto a interseção como as conexões de cada um de seus ramos devem ser sujeitos a uma análise funcional, na qual além de determinar sua capacidade, nível de serviço e outros aspectos do projeto, seja feita a avaliação de suas condições de operação e continuidade por um motorista que não esteja familiarizado com a interseção.

Essa avaliação deve incluir os seguintes pontos:

- Situação, proximidade e sequência de conexões (saídas e entradas) e outras convergências e divergências;
- Seções com entrecruzamento;
- Clareza dos destinos e visibilidade dos sinais;
- Clareza das trajetórias a seguir.

Cada rota deve ser testada em comparação com outros elementos de projeto que possam afetar um motorista que deseja segui-la. Para esse fim deve-se dispor das seguintes informações:

- Números de faixas de tráfego;
- Volumes nas horas de pico;
- Velocidades esperadas;
- Distâncias de visibilidade disponíveis;
- Sinalização de orientação.

Essa análise funcional mostrará se é possível cometer enganos devido à proximidade de conexões, e se outros conflitos provenientes de entrecruzamentos podem ser esperados. A clareza das trajetórias a

seguir e a possibilidade de sua sinalização devem ser verificadas: uma trajetória pode ser direta e fácil de seguir, ou complexa e cheia de conflitos com outros elementos.

A análise funcional deve também incluir uma verificação dos parâmetros do projeto tais como comprimentos das faixas de mudança de velocidade e raios de giro. Isto é especialmente útil para interseções que seguem modelos pouco convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *Highway design and operational practices related to highway safety*. Washington, D.C., 1974.

b) ______. *Highway safety design and operations guide*. 3rd ed. Washington, D.C., 1997.

c) ______. *A policy on geometric design of highways and streets*. Washington, D.C., 1990.

d) ______. ______. Washington, D.C., 1994.

e) ______. ______. 4th ed. Washington, D.C., 2001.

f) ______. ______. 5th ed. Washington, D.C., 2004.

g) BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. *Glossário de termos técnicos rodoviários*. Rio de Janeiro, 1997. (IPR. Publ., 700).

h) ______. *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Rio de Janeiro, 1999. (IPR. Publ., 706).

i) BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de projeto geométrico de travessias urbanas*. Rio de Janeiro, 2010. (IPR. Publ., 740).

j) ______. *Manual de sinalização de obras e emergências em rodovias*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2010. (IPR. Publ., 738).

k) ______. *Manual de sinalização rodoviária*. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010. (IPR. Publ., XXX).

l) ______. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de acesso de propriedades marginais a rodovias federais*. Rio de Janeiro, 2006. (IPR. Publ., 728).

m) ______. *Manual de projeto de interseções*. Rio de Janeiro, 2005. (IPR. Publ., 718)

n) EWING, Reid H. *Traffic calming*: state of the practice. Washington, D.C.: ITE, 1999.

o) FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FUr STRASSEN UND VerKEHRSWESEN *Richtlinien fur die Anlage von Strassen. Linienfuhrung* (RAS-L). Bonn, 1995.

p) GEOMETRIC design criteria for highway-rail intersections (grade crossings). *ITE journal*, Washington, D.C., v. 72, n. 11, nov. 2002.

q) NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Transportation Research Board. *Highway capacity manual*. 3 rd ed. Washington, D.C., 2000. (TRB. Special Report 209).

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

a) ALEMANHA. Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development. *Relationship between traffic safety and design elements*. Berlin, 1999.

b) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *A guide for accommodating utilities within highway right-of-way*. Washington, D.C., 1994.

c) ______. *Guide for the design of high-occupancy vehicle (HOV) facilities*. Washington, D.C., 1992.

d) ______. *Guide for the development of bicycle fac*ilities. Washington, D.C., 1999.

e) ______. *Guide for the planning, design, and operation of pedestrian facilities*. Washington, D.C., 2004.

f) ______. *Guidelines for geometric design of very low-volume local roads*. Washington, D.C., 2001.

g) ______. *A policy on design of urban highways and arterial streets*. Washington, D.C., 1973.

h) ______. *Projeto e práticas operacionais relativas à segurança do tráfego rodoviário*. Tradução de Luiz Ribeiro Soares. Rio de Janeiro: IPR, 1975. Título original: Highway design and operational practices related to highway safety - 1967. (IPR. Publ., 606).

i) ______.______. Tradução de Luiz Ribeiro Soares. Rio de Janeiro: IPR, 1975. Título original: Highway design and operational practices related to highway safety - 1974. (IPR. Publ., 606).

j) ______. ______. 2. ed. Tradução de Luiz Ribeiro Soares. Rio de Janeiro: IPR, 1976. Título original: Highway design and operational practices related to highway safety - 1974. (IPR. Publ., 608).

k) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. *A guide to urban arterial systems*. New York, 1981.

l) ANDERSON, I. B. et al. Relationship to safety of geometric design consistency measures for rural two-lane highways. *Transportation Research Record*, Washington, D.C., n. 1658, p. 43-51, 1999.

m) BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Normas para o projeto das estradas de rodagem*. Reimpr. Rio de Janeiro, 1973.

n) ______. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. *Procedimentos básicos para operação de rodovias*. Rio de Janeiro, 1997. (IPR. Publ., 699).

o) ______. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento. *Guia de redução de acidentes com base em medidas de engenharia de baixo custo*. Rio de Janeiro, 1998. (IPR. Publ., 703).

p) ______. Diretoria de Planejamento. *Normas para a classificação funcional de vias urbanas*. Rio de Janeiro, 1974.

q) BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro, 2006. (IPR. Publ., 723).

r) BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito; INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. *Manual de segurança de pedestres*. Brasília, 1979. (DENATRAN. Coleção de serviços de engenharia, 03).

s) BRASIL. Lei n.º 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 25 out. 2005.

t) EFFECTIVENESS OF HIGHWAY SAFETY IMPROVEMENTS, 1985, Nashville. *Proceedings*...New York: ASCE, 1986.

u) ESTADOS UNIDOS. Federal Highway Administration. *A handbook of highway safety design and operating practices*. 3rd ed. Washington, D.C.,1978.

v) ______; INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. *Making intersections safer:* a toolbox of engineering countermeasures to reduce red-light running: an informational report. Washington, D.C., 2003.

w) FRANÇA. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes; FRANÇA. Centre d'Études des Transports Urbains. *Sécurité des routes et des rues*. Bagneux, 1992.

x) GOLD, Philip Anthony. *Segurança de trânsito*: aplicações de engenharia para reduzir acidentes. Washington, D.C.: BID, 1998.

y) HARWOOD, D. W. et al. *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*. Washington, D.C.: FHWA, 2000. (Report FHWA-RD-99-207).

z) HIGHWAY and traffic safety and accident research, management, and issues. *Transportation Research Record*, Washington, D.C., n. 1401, 1993.

aa) INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. *Neighborhood street design guidelines*. Washington, D.C., 2003.

bb) Oliveira, Amarilio Carvalho. *Características geométricas das rodovias*. Rio de Janeiro: DER, 1966.

cc) TRAFFIC control devices and highway visibility. *Transportation Research Record*, Washington, D.C., n. 1368, 1992.

ÍNDICE